

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE  
OF  
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

**No.1400**      March 2022

実務者のための PC 栈橋上部工の維持管理の手引き（案）

加藤絵万，田中豊，川端雄一郎，小笠原哲也，渡瀬博，石井豪，河邊修作，宮沢明良，中山良直，中嶋道雄，立神久雄，米倉宣行，雨宮美子，鈴鹿良和，藤村立行

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. まえがき .....	4
2. 研究の方法 .....	5
2.1 前提条件の整理 .....	5
2.2 点検診断に関する検討 .....	5
2.3 性能評価に関する検討 .....	6
2.4 対策に関する検討 .....	7
2.5 PC栈橋上部工の高耐久化に向けた検討 .....	7
3. まとめ .....	7
4. あとがき .....	7
参考文献 .....	8
付録 実務者のためのPC栈橋上部工の維持管理の手引き（案） .....	9

# **Guideline for Maintenance and Management of PC Wharf Superstructure for Port Engineers**

**KATO Ema\*<sup>1</sup>, TANAKA Yutaka\*<sup>2</sup>, KAWABATA Yuichiro\*<sup>3</sup>, OGASAWARA Tetsuya\*<sup>4</sup>,  
WATASE Hiroshi\*<sup>4</sup>, ISHI Tsuyoshi\*<sup>4</sup>, KAWABE Shusaku\*<sup>4</sup>, MIYAZAWA Akira\*<sup>4</sup>,  
NAKAYAMA Yoshinao\*<sup>4</sup>, NAKAJIMA Michio\*<sup>4</sup>, TATEGAMI Hisao\*<sup>4</sup>, YONEKURA Nobuyuki\*<sup>4</sup>,  
AMEMIYA Yoshiko\*<sup>4</sup>, SUZUKA Yoshikazu\*<sup>4</sup>, FUJIMURA Tatsuyuki\*<sup>4</sup>**

## **Synopsis**

From the 1960s to the present, more than 400 open-type wharves with prestressed concrete superstructure were constructed in Japan. However, the knowledge of maintenance of the superstructure ("PC wharf superstructure") has not been accumulated, and the maintenance procedures have not been systematically organized.

In this report, from the maintenance knowledge accumulated in the bridges with prestressed concrete superstructure and open-type wharves with reinforced concrete superstructure, the elemental technologies applicable to the PC wharf superstructure and the points to be noted when applying them were extracted. Then, a series of flow of maintenance and management procedure, including inspection and diagnosis, performance evaluation and maintenance repair methods for PC wharf superstructure was summarized as "Guideline for maintenance and management of PC wharf superstructure for port engineers".

**Key Words:** PC wharf superstructure, Maintenance and management, Inspection and diagnosis, Performance evaluation, Maintenance repair method

---

\*1 Head of Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department

\*2 Senior Researcher of Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department

\*3 Head of Frontier Technologies for structures Group, Structural Engineering Department

\*4 Japan Association of PC Marine Structures

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:katoh-e@p.mpat.go.jp

# 実務者のための PC 栈橋上部工の維持管理の手引き（案）

加藤 絵万\*<sup>1</sup>・田中 豊\*<sup>2</sup>・川端 雄一郎\*<sup>3</sup>・小笠原 哲也\*<sup>4</sup>・渡瀬 博\*<sup>4</sup>  
・石井 豪\*<sup>4</sup>・河邊 修作\*<sup>4</sup>・宮沢 明良\*<sup>4</sup>・中山 良直\*<sup>4</sup>・中嶋 道雄\*<sup>4</sup>  
・立神 久雄\*<sup>4</sup>・米倉 宣行\*<sup>4</sup>・雨宮 美子\*<sup>4</sup>・鈴鹿 良和\*<sup>4</sup>・藤村 立行\*<sup>4</sup>

## 要 旨

PC 栈橋は、1960 年代から現在に至るまでに、国内で 400 施設以上が整備されている。しかし、その上部工（PC 栈橋上部工）については、これまで RC 造の栈橋上部工について行われてきたような維持管理の知見の蓄積や、維持行為の体系的な整理は行われていない。

本検討では、PC 栈橋上部工に関連する技術の変遷を整理したうえで、PC 橋および RC 栈橋上部工で蓄積された維持管理に関する知見から、PC 栈橋上部工に適用できる要素技術やそれらを適用する場合の留意事項を抽出し、点検診断、性能評価および対策の維持管理の一連の流れについて、「実務者のための PC 栈橋上部工の維持管理の手引き（案）」としてとりまとめた。また、あわせて、PC 栈橋上部工の長寿命化や維持管理の省力化を可能とする高耐久化技術について整理した。

キーワード：PC 栈橋上部工，維持管理，点検診断，性能評価，維持補修

---

\*1 構造研究領域 構造研究グループ長

\*2 構造研究領域 構造研究グループ 主任研究官

\*3 構造研究領域 構造新技術研究グループ長

\*4 港湾PC構造物研究会

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所  
電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 e-mail:katoh-e@p.mpat.go.jp

## 1. まえがき

PC（プレストレストコンクリート）栈橋上部工は、各径間に並列架設されたプレキャストPC桁を間詰めコンクリートと横方向プレストレスによって一体版構造としたものである。図-1にPC栈橋上部工の完成年度と施設数の推移を示す。国内ではこれまでに400以上の実績があり、RC造の栈橋に比べて上部工の軽量化が図れることや、プレキャスト部材の使用により施工の省力化・省スペース化や工事期間の短縮が可能であるため、改良工事や災害復旧で適用されることが多い<sup>2)</sup>。

ここで、栈橋上部工は海水面から近い位置にあるため、コンクリート部材の塩害が生じやすい。これは、現場打ちコンクリートよりも低水セメント比のコンクリートを用いたプレキャスト部材により構成されるPC栈橋上部工であっても同様である。写真-1に、建設から50年以上が経過したPC栈橋上部工プレテンションT桁の塩害による劣化事例を示す。なお、当該施設は現在では撤去・更新されている。図-1より、PC栈橋の総施設数は1980年以降、増加傾向にあるが、うち、整備期間が1980～1990年代である施設が6割を占めている。これらの施設がその予定供用期間中の性能を満足するためには、適切な維持管理を実施することが極めて重要である。

2007年3月、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、「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」が改正された。これにより、技術基準対象施設については、新規施設に対しては設計時、既存施設の場合には今後最初に実施する点検診断時に維持管理計画書等を作成し、それに基づく維持管理を実施することが規定された。PC栈橋上部工の維持管理を適切に行うための基本的な考え方や実施すべき事項を示したものとしては、「港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改訂版）」<sup>3)</sup>や、「港湾コンクリート構造物補修マニュアル」<sup>4)</sup>などがある。ただし、これらの指針類では、PC栈橋上部工の維持管理の基本事項は記載されているものの、実務に即活用できる技術情報は充実されていない。

一方で、今日まで全国で十数万橋が供用されているPC橋の維持管理については、産学官問わず多数の知見が蓄積されており、例えば「PC構造物の維持保全—PC橋の更なる予防保全に向けて—」<sup>5)</sup>など実務者向けの技術資料も充実している。また、コンクリート構造物の維持管理を行ううえでバイブルとしての役割を果たしている土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕では、〔標準付属書：2編 構造物・部材 1章 プレストレストコンクリート〕が設けられているが、「プレストレストコンクリ

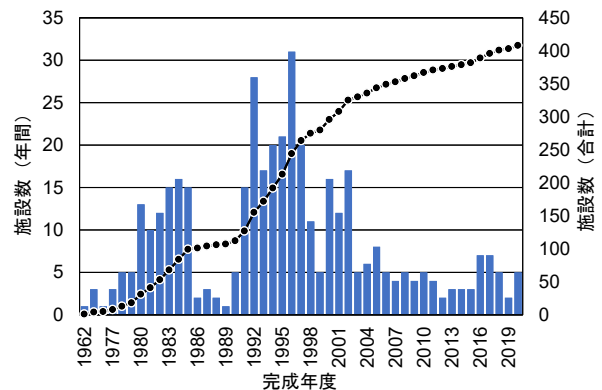


図-1 PC栈橋上部工の整備の推移  
(文献1)より作成

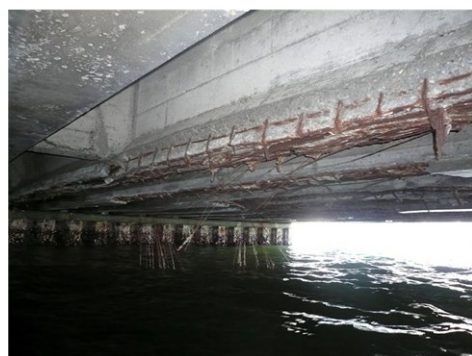


写真-1 PC栈橋上部工の劣化事例  
(2007年3月1日撮影)

ート構造物の代表である橋梁上部工を主として例にとりながら」記述する旨が示されている<sup>6)</sup>。

PC栈橋上部工については、劣化・変状やその対策の事例はいくつか見受けられるものの、これまでRC造の栈橋上部工について行われてきたような維持管理の知見の蓄積や、維持行為の体系的な整理は行われていない。ただし、PC栈橋上部工は、ひび割れを許容しない構造であること、PC鋼材や定着具を使用すること、プレテンション方式の複数のPC桁を横方向プレストレスで一体化すること等、PC橋との共通事項は多い。また、設置される環境や、劣化・変状の発生要因、点検診断や対策の実施にあたっての現場条件については、RC栈橋上部工との共通事項が多い。そこで、本検討では、PC橋およびRC栈橋上部工での劣化・変状や点検診断、評価、対策に関する知見から、PC栈橋上部工に適用できる事項、あるいはPC栈橋上部工であるからこそその留意事項を抽出して、PC栈橋上部工の維持管理実務で活用できる技術情報を示すことを目標とした。

## 2. 研究の方法

### 2.1 前提条件の整理

#### (1) PC栈橋上部工の劣化・変状とその要因の想定

前述の通り、これまでにPC 栈橋上部工の劣化・変状事例が見受けられるものの、その状況を公表した資料等はほとんど存在しない。このため、PC 橋やRC 栈橋上部工での劣化・変状事例から、PC 栈橋上部工のホロー桁およびT 桁、間詰め部および横締め部に発生することが予測される変状パターンを想定した。その後、変状の発生要因として、材料（コンクリート）由来のもの、設計条件によるもの、外的要因（環境、作用）によるものを整理し、以降で検討する維持管理の各段階（点検診断、性能評価、対策）において留意すべき基本事項としてとりまとめた。

#### (2) PC栈橋上部工の設計および材料の変遷の整理

インフラ施設の維持管理にあたっては、当該施設の設計思想、施工方法、使用材料等を踏まえた上で、起こりうる劣化や変状を想定して、点検診断や評価の方法、また対策の方法および時期を選定することが求められる。このため、PC栈橋の設計および施工に関する規定事項の変遷を調査し、それぞれの年代に設計・施工されたPC栈橋上部工について維持管理上、留意すべき点を整理した。

表-1にPC栈橋の設計・施工関連基準類の変遷を示す。これらの基準類の適用年次により、例えば、部分係数や作用の組み合わせなどの部材の照査方法、鋼材のかぶり、JISの改正に従ったPCホロー桁の断面形状、要求されるプレストレスの導入程度などが異なる。また、コンクリート、PC鋼材およびPCグラウト等の使用材料についても、適用年次によりJISの規定が異なる。これらは供用期間中のPC栈橋上部工の安全性・使用性や耐久性に大きな影響を及ぼすことから、設計、施工および使用材料のそれぞれについて、留意すべき点を取りまとめた。

#### (3) 用語の整理

プレストレスコンクリートに関する技術用語については、一般的な港湾技術者には馴染みがない場合が多いことから、PC栈橋上部工およびプレストレスコンクリートに関連する用語とその解説を取りまとめた。

### 2.2 点検診断に関する検討

PC栈橋上部工の点検診断において、まず着目すべきはPC桁のひび割れの発生である。例えば、部材軸方向ひび割れは膨張に起因することが多く、部材軸直角方向ひび割れは収縮に起因することが多い。前者の要因としては、ASRや軸方向PC鋼材の腐食による膨張などが、後者の要

表-1 PC 栈橋の設計・施工関連基準類の変遷

時期	設計・施工関連基準類
1979年3月	港湾の施設の技術上の基準・同解説
1987年3月	プレストレスコンクリート港湾構造物設計マニュアル
1989年4月	PC 栈橋の設計・施工法調査報告書（概要版） PC 栈橋の設計に関する技術資料 PC 栈橋の施工に関する技術資料
1989年6月	港湾の施設の技術上の基準・同解説
1999年9月	港湾の施設の技術上の基準・同解説
2003年10月	PC 栈橋技術マニュアル
2007年7月	港湾の施設の技術上の基準・同解説
2010年9月	PC 栈橋技術マニュアル（2010年版）
2018年5月	港湾の施設の技術上の基準・同解説

表-2 構造部位と変状パターンの分類

構造部位		変状パターン
ホロー桁	主桁本体	部材軸方向のひび割れ
		部材軸直角方向のひび割れ
		曲げひび割れ
	間詰め部	間詰め部の漏水
T 桁	主桁本体	部材軸方向のひび割れ
		部材軸直角方向のひび割れ
		曲げひび割れ
	間詰め部	間詰め床版部の漏水

表-3 外観状況に応じた性能判断の区分(案) (PC 桁)  
(文献4を編集)

性能判断の区分	外観状況
区分Ⅱ	PC 桁下面に PC 桁の部材軸方向のひび割れや水しみおよびエフロッセンスがみられるが、錆汁は確認できない。
区分Ⅲ	PC 桁下面にひび割れや水しみおよびエフロッセンスがみられ、ひび割れからの錆汁の析出が確認できる。
区分Ⅳ	PC 桁下面の PC 鋼材の腐食が進行し、コンクリートの剥離、剥落が生じている。

表-4 外観状況に応じた性能判断の区分(案) (間詰め部)  
(文献4を編集)

性能判断の区分	外観状況
区分Ⅱ	間詰め部から漏水（水しみ）を生じているが、錆汁など鋼材腐食の兆候は認められない。
区分Ⅲ	中空床版間詰め部から漏水（水しみ）を生じており、漏水に錆汁の発生や局部的な腐食ひび割れ、剥離などが認められる。
区分Ⅳ	舗装面および栈橋上部工下面で、間詰め位置に沿ったひび割れが多数生じている。

因としては乾燥収縮や曲げモーメントに対する耐力不足などが考えられる。このように、PC栈橋上部工を構成する構造部位とその変状パターンに応じて、劣化・変状の発生要因をある程度推定できるが、維持管理実務においては、点検診断の目的に応じた適切な調査項目と調査

手法を選定することが重要となる。このため、本検討では、点検診断の目的を1) 劣化要因の推定と2) 性能評価の大きくふたつに分けて、表-2に示す構造部位と変状パターンの分類と、表-3および表-4に示す性能判断の区分(案)ごとに、目的に応じた調査項目と照査手法を選定するための一覧表を、調査方法の選定シート(案)として取りまとめた。また、あわせて、適切かつ効果的な部材情報を得るための、調査項目と調査方法の優先度について試案を示した。なお、調査方法については、日本産業規格(JIS)、土木学会基準、日本非破壊検査協会規格のほか、プレストレストコンクリート工学会が発行する「コンクリート構造診断技術」<sup>7)</sup>から、PC栈橋上部工に適用可能な技術を選定した。

### 2.3 性能評価に関する検討

現在の国の点検診断の仕組み<sup>8)</sup>においては、PC栈橋上部工に何らかの変状が認められた場合、劣化度a(部材の性能が著しく低下している状態)と判定される。PC栈橋上部工の点検診断の項目の分類はI類と例示されているため、機械的に施設の性能低下度を評価すると、当該施設は性能低下度A(施設の性能が相当低下している状態)となる。しかし、PC栈橋上部工の力学的性能や耐久性の低下の程度は、劣化・変状の発生箇所や程度によって異なるものである。また、適切な対策を講じるためには、PC栈橋上部工の力学的性能および耐久性を定量的に把握することが重要である。

ここで、耐久性の評価方法については、設置される環境は異なるものの、これまで蓄積されたPC橋での耐久性の考え方とほぼ同等に取り扱うことができ、少ないながらもPC栈橋上部工での評価事例も存在する。一方で、力学的性能については、PC橋とは異なり、体系的な手順を踏んで評価された事例はない。そして、これまでのPC橋での取組みに倣い、PC栈橋上部工についてもPC桁単体ではなく複数のPC桁を一体化した版構造として性能を評価する方が、施設の当初設計での考え方に合致する。そこで、本検討では、PC栈橋上部工の適切な対策選定に向けて、構造解析を伴う性能評価の基本方針を示した。

PC栈橋上部工の構造解析の実施の要否は、劣化・変状の状態や現在保有する力学的性能、耐久性の余裕度等を総合的に判断して決定することが基本となるが、現状では、一般に表-5のように判定することができる。また、力学的性能を確保する対策の選定に向けての一般的な解析手順は、①現状の性能の把握：プレキャストPC桁が劣化した状態での構造解析・照査を行い作用耐力比を把握する、②対策工法の選定：力学的性能の不足を補う工法

表-5 構造解析の要否判定(案)

性能判断の区分	構造解析の必要性
区分Ⅱ	性能判断区分Ⅱの状態は、劣化作用は認められるもののまだ耐荷性能が下がっていない状態であり、一般的には耐荷性能が下がっていない状態であるため構造解析は不要であると考えられる。ただし、耐荷性能の進行や劣化部材の重要度等を総合的に判断する必要がある。
区分Ⅲ	劣化によりまだ耐荷力がほとんど低下していない状態であり、構造解析が必要かどうかは劣化が進んでいる部材や重要度等により判断する。例えば構造上重要であるPC鋼材の劣化が進んでいるようであれば解析が必要であり、一方スターラップが腐食している状態でせん断耐力に余裕があると判断される場合には、劣化進行防止策を考慮する方向性となる。
区分Ⅳ	劣化により耐荷力低下の傾向が顕著であるため、一般的には構造解析を行う必要がある。

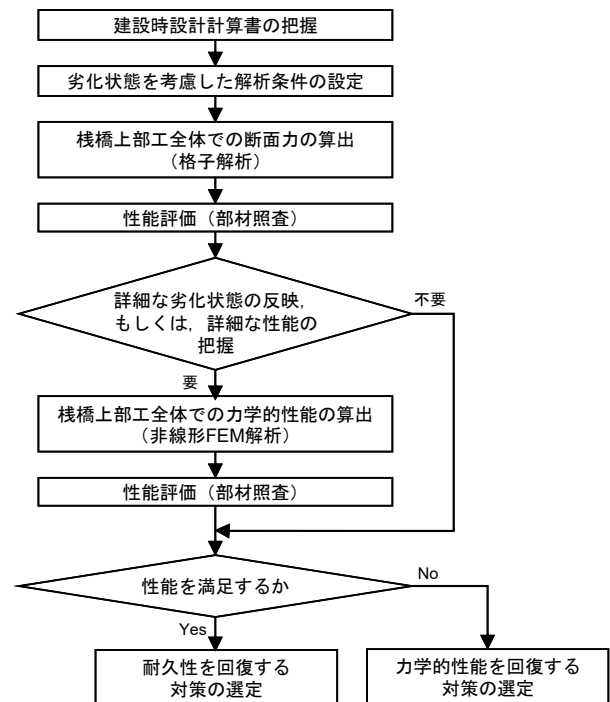


図-2 構造解析を伴う評価の標準的な手順

を選定する、③予定供用期間終了時の性能の把握：対策を見込んだ状態での構造解析・照査を行う、と整理した。特に、①については、先行研究<sup>9)</sup>において構造解析手法の使い分けについて検討した。これより、建設時の設計においてギオン・マソネ(版理論)が使用されている場合でも、劣化の影響を考慮するためには格子解析(格子構造理論)を適用する必要があること、また、より詳細に劣化状態を構造解析に反映させたい場合、もしくは、より詳細に力学的性能を把握したい場合は、非線形FEM解析を行うべきであるとの方針を示した。構造解析を伴う

評価の標準的な手順は図-2に示すとおりである。本検討では、劣化度a・性能判断の区分IVの変状ケースを想定して、この手順に基づいて、点検診断、構造解析を伴う性能評価、対策の選定を行う例をケーススタディとして整理した。

## 2.4 対策に関する検討

「港湾コンクリート構造物補修マニュアル」<sup>4)</sup>では、変状により性能が低下したコンクリート部材の耐久性または力学的性能、あるいは両者を、当初の水準を超えないレベルまでに回復させる行為、あるいは、当初保有していた水準を超える耐久性を付与する行為を「補修」、部材が当初に保有していた水準を超える力学的性能を付与する行為を「補強」として区分している。本検討では、「港湾コンクリート構造物補修マニュアル」<sup>4)</sup>に示されたPC栈橋上部工の対策選定フローを基本として、表-3および表-4に示す性能判断の区分(案)に応じてより細分化した調査項目・方法に基づいて、必要に応じて構造解析を行い、これらより対策工法を選定するフローを提案した。また、構造部位ごとに推定される劣化・変状の要因と性能判断の区分に応じて、耐久性あるいは力学的性能を回復するための標準的な工法の一覧と、工法を選定する上での留意点を、補修工法選定シート(案)として取りまとめた。

ここで、PC 栈橋上部工の耐久性の回復については、これまでの実績は非常に少ないながら、RC 栈橋上部工において標準的に適用される表面被覆工法、断面修復工法や電気防食工法などが適用されており、効果や耐用期間、施工方法や材料の仕様はほぼ同等と考えられる。しかし、例えば、PC栈橋上部工に断面修復工法を適用する場合、プレストレスの存在によりコンクリートを大きくはつり取ることは難しい。このため、コンクリートを大きくはつり取らなくても高い効果が得られる工法を検討しなければならない。このように、PC 構造の特徴を十分に理解したうえで補修工法を選定することが重要であることから、PC 栈橋上部工に特有の留意事項を整理した。

一方で、PC栈橋上部工の力学的性能の回復については、これまでほとんど実績はない。しかし、外ケーブル工法と繊維補強工法については、PC橋にて多々実績があり、補強設計・施工方法も確立されていることから、PC栈橋上部工にも適用可能であると判断し、これらを適用する場合の設計・施工の手順や留意点を整理した。

PC栈橋上部工に耐久性あるいは力学的性能を回復するため工法を適用した場合、工法の種別に応じてその後の維持管理での着目点は異なる。このため、対策後の維持

管理の留意点として、工法種別ごとの点検診断における着目点を整理した。あわせて、劣化が生じているものの力学的性能は当初設計から低下していないため劣化進行の抑制対策を行った場合のPC栈橋上部工の維持管理について、留意点を取りまとめるとともに、点検診断、性能評価、対策の選定を行う例をケーススタディとして整理した。

## 2.5 PC 栈橋上部工の高耐久化に向けた検討

港湾の施設の技術上の基準・同解説〔2018年〕では、塩害など予測される劣化要因により部材の性能の低下が生じることが懸念されるが容易に補修等の対策が行えないコンクリート部材については、設計時から維持管理の省力化に配慮することが望ましい旨とその対応方策が示された。ただし、栈橋上部工のみを対象とした対応方策については、2014年6月に港湾の施設の技術上の基準・同解説〔2007年〕の部分改訂により先行して周知されている。これ以降に設計されたRC 栈橋上部工では、エポキシ樹脂鉄筋の採用やコンクリートの高耐久化により、設計供用期間中の耐久性の確保が図られることが多くなっている。また、PC 部材を利用した港湾施設についても、ジャケット式栈橋の床版をPC 造として連続繊維補強材を使用した事例や<sup>10)</sup>、栈橋～護岸間の渡橋に連続繊維補強材を用いたPC ホロー桁を適用した事例がある<sup>11)</sup>。

本検討では、上記の港湾施設での実績のほか、PC 橋での適用実績を参考に、PC 栈橋上部工の高耐久化に有効と考えられる建設材料・技術を整理した。

## 3. まとめ

本検討では、PC橋およびRC栈橋上部工で蓄積された維持管理に関する知見から、PC栈橋上部工に適用できる要素技術やそれらを適用する場合の留意事項を抽出し、PC 栈橋上部工の点検診断、評価および対策の維持管理の一連の流れについて、「実務者のためのPC栈橋上部工の維持管理の手引き(案)」としてとりまとめた(付録)。また、あわせて、PC栈橋上部工の長寿命化や維持管理の省力化を可能とする高耐久化技術について整理した。

## 4. あとがき

「実務者のためのPC栈橋上部工の維持管理の手引き(案)」は、港湾PC構造物研究会と港湾空港技術研究所の共同研究「PC栈橋上部工における維持管理に配慮した設計及び維持管理の高度化に関する研究」(2017～2021年度)における成果である。本検討では、これまで注視されることはなかったが、今後、対応が求められるであろう



うPC栈橋上部工の老朽化対策や、今後建設されるPC栈橋上部工の長寿命化対策について具体的に示したものである。劣化を考慮したPC栈橋上部工の力学的性能の評価については、既報<sup>9)</sup>の通り試行的な段階であり、力学的性能あるいは耐久性の回復のための工法選定についても、点検診断および対策工法の設計・施工に関する技術の進展を踏まえての継続的な見直しが必要である。しかし、ここで示した維持管理技術や留意点については、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。

(2022年2月1日受付)

#### 参考文献

- 1) 港湾PC構造物研究会：港湾PC構造物実績集，第1章 PC栈橋，1.5 実績表－固定式PC栈橋（プレテン桁），<http://www.kopi-ken.com/jisseki/01/1.5.pdf>（2022年1月確認）
- 2) 港湾PC構造物研究会：港湾PC構造物実績集，第1章 PC栈橋，1.1 概要，<http://www.kopi-ken.com/jisseki/01/1.1.pdf>（2022年1月確認）
- 3) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改訂版），沿岸技術ライブラリー No.48，2018.
- 4) 国土交通省港湾局監修：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，沿岸技術ライブラリー No.50，pp.111-127，2018.
- 5) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC構造物の維持保全－PC橋の更なる予防保全に向けて－[2015年版]，2015.
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]，標準付属書：2編 構造物・部材 1章 プレストレストコンクリート，pp.231，2018.
- 7) プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造診断技術，2019.
- 8) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン（平成26年7月，令和3年3月一部変更），2021.
- 9) 田中豊，川端雄一郎，加藤絵万，鈴木良和，河邊修作，中嶋道雄，石井豪，立神久雄，小笠原哲也：劣化したPC栈橋上部工の構造性能に関する解析的検討，港湾空港技術研究所報告，Vol.60，No.3，pp.3-67，2021.
- 10) 森谷佳太，鈴木孝信，山口圭太：釧路港岸壁（-14m）における耐久性を考慮した設計について，第60回（平成28年度）北海道開発技術研究発表会，<https://thesis.ceri.go.jp/db/files/16639846425976b4b837447.pdf>，2017.
- 11) 建設用先端複合材料技術協会：PC ホロー桁への炭素繊維強化プラスチックの導入 ～平成 28 年度小名浜港東港地区岸壁(-18m)(耐震)上部工事～，ACCトピックス，Vol.29，p.6，2018.

# 実務者のためのPC栈橋上部工の維持管理の手引き（案）

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 総説 .....	1
1.2 本マニュアルにおける維持管理の基本的な考え方と本マニュアルの構成 .....	2
1.3 用語の説明 .....	6
2. 劣化・損傷と関連技術の変遷 .....	9
2.1 PC栈橋上部工の損傷形態 .....	9
2.2 PC栈橋上部工の劣化要因 .....	10
2.3 劣化要因を推定する上で留意すべき事項（過去の変遷） .....	13
3. PC栈橋上部工の外観目視調査における着目点 .....	23
3.1 一般.....	23
3.2 劣化の予兆に着目した外観目視調査 .....	23
3.3 水の浸入経路に着目した外観目視調査 .....	24
3.4 部位に着目した外観目視調査.....	25
4. 要因ごとの調査方法 .....	26
4.1 要因ごとの調査方法の概要 .....	26
4.2 調査の種類と調査項目 .....	26
4.3 調査方法の選定シート（案） .....	26
4.4 必須調査.....	28
4.5 劣化要因推定調査.....	29
4.6 性能・機能評価調査.....	30
5. 性能評価 .....	38
5.1 構造解析を伴う性能評価 .....	38
5.2 構造解析の要否判定 .....	38
5.3 劣化状態の反映 .....	39
5.4 構造解析.....	39
5.5 性能評価.....	43
6. 対策の選定 .....	45
6.1 選定フロー .....	45
6.2 プレキャストPC桁 .....	47
6.3 間詰め部・横締め部（地覆部） .....	47

7. 補修 .....	55
7.1 一般 .....	55
7.2 ひび割れ補修工法 .....	55
7.3 断面修復工法 .....	56
7.4 表面被覆工法 .....	56
7.5 電気化学的防食工法 .....	57
7.6 その他 .....	58
8. 補強 .....	59
8.1 一般 .....	59
8.2 外ケーブル工法 .....	59
8.3 繊維補強工法 .....	63
9. 対策後の維持管理 .....	66
9.1 一般 .....	66
9.2 対策後の点検 .....	66
10. 劣化を想定した評価例 .....	69
10.1 ケース1 .....	70
10.2 ケース2 .....	85
10.3 ケース3 .....	95
11. PC構造物の高耐久化技術 .....	106
11.1 一般 .....	106
11.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋 .....	106
11.3 ステンレス鉄筋 .....	107
11.4 エポキシ樹脂被覆・塗装PC鋼材 .....	107
11.5 プレグラウト鋼材 .....	108
11.6 非鉄シーす .....	108
11.7 連続繊維補強材 .....	109
11.8 高炉スラグ微粉末 .....	111
11.9 フライアッシュ .....	111
11.10 マルチレイヤプロテクション .....	112
付録 港湾PC構造物研究会・会員会社が保有する補修・補強およびモニタリング技術 .....	113

本手引き（案）は、平成29年7月1日から令和4年3月31日までに実施した共同研究「PC栈橋上部工における維持管理に配慮した設計及び維持管理の高度化」の成果を取りまとめたものである。

共同研究委員会メンバー

港湾空港技術研究所 加藤 絵万  
川端 雄一郎  
田中 豊

港湾PC構造物研究会

主査	小笠原 哲也	(五洋建設(株))	
副主査	渡瀬 博	(オリエンタル白石(株))	
幹事	石井 豪	(株)安部日鋼工業)	
SWG-A主査	河邊 修作	(株)富士ピー・エス)	令和元年7月～
〃	星野 展洋	(株)富士ピー・エス)	平成30年7月～令和元年6月
SWG-B主査	宮沢 明良	(東亜建設工業(株))	
委員	中山 良直	(川田建設(株))	
〃	中嶋 道雄	(東洋建設(株))	～令和3年10月
〃	立神 久雄	(ドーピー建設工業(株))	
〃	米倉 宣行	(株)日本ピーエス)	平成30年4月～
〃	谷口 正輝	(株)日本ピーエス)	～平成30年3月
〃	雨宮 美子	(株)ピーエス三菱)	平成31年4月～
〃	久徳 貢大	(株)ピーエス三菱)	～平成31年3月
〃	篠原 貴	(株)富士ピー・エス)	～平成30年6月
〃	鈴鹿 良和	(三井住友建設(株))	
〃	藤村 立行	(若築建設(株))	

SWG-A：耐力評価検討ワーキング

河邊 修作	(株)富士ピー・エス)	令和元年7月～
星野 展洋	(株)富士ピー・エス)	平成30年7月～令和元年6月
中嶋 道雄	(東洋建設(株))	～令和3年10月
立神 久雄	(ドーピー建設工業(株))	
鈴鹿 良和	(三井住友建設(株))	
小笠原 哲也	(五洋建設(株))	
石井 豪	(株)安部日鋼工業)	

SWG-B：健全度評価検討ワーキング

宮沢 明良	(東亜建設工業(株))	
中山 良直	(川田建設(株))	
米倉 宣行	(株)日本ピーエス)	平成30年4月～
雨宮 美子	(株)ピーエス三菱)	平成31年4月～
久徳 貢大	(株)ピーエス三菱)	～平成31年3月
藤村 立行	(若築建設(株))	
小笠原 哲也	(五洋建設(株))	
渡瀬 博	(オリエンタル白石(株))	
石井 豪	(株)安部日鋼工業)	

※所属名は在任当時のもの

## 1. はじめに

### 1.1 総説

本手引き（案）は、既設のPC栈橋上部工において、維持管理を行うための一連の技術的な情報を提供するものである。

PC栈橋は日本で400以上の実績<sup>1)</sup>があり、また「PC栈橋技術マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター）2010年版」<sup>2)</sup>にて、主に設計手法についてまとめられている。港湾においてPC栈橋の適用件数が増加したのは30～40年前からであり、栈橋上部工が鋼材腐食を生じやすい環境下にあることと、これまでの供用期間を考えると、PC栈橋上部工の維持管理の重要性が一層高まってくると考えられる。

PC栈橋上部工の維持管理を適切に行うために、基本的な考え方や実施すべき事項を示したものに「港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改訂版）（（一財）沿岸技術研究センター）、2018年7月」<sup>3)</sup>、「港湾の施設の点検診断ガイドライン（国土交通省港湾局、2018年・2020年・2021年 一部変更）」<sup>4)</sup>、「港湾コンクリート構造物補修マニュアル（（一財）沿岸技術研究センター）、2018年7月」<sup>5)</sup>がある。これらのマニュアル、ガイドラインには、PC栈橋上部工の点検診断、総合評価、補修・補強工法の選定と設計や施工、補修後の維持管理などについて示されており、記載されている事項に準拠してPC栈橋上部工の維持管理をすることで、供用期間にわたって必要な性能を満足することができる。

一方で、PC栈橋上部工は、RC構造物で使用しないPC鋼材や定着具を使用し、さらにプレテンション方式の複数のPC桁を横締めで一体化することや、ひび割れを許さない構造であることから、RC栈橋上部工と異なる着目点によって点検診断を行い、必要に応じて構造解析を伴う耐力評価を実施し、対策を検討する必要があることがある。そのためPC栈橋上部工の維持管理において特に専門的と考えられる技術を具体化し、PC栈橋上部工の維持管理に活用していくことが重要と考えられる。

そこで本手引き（案）では、上記のマニュアル、ガイドラインに加えて、PC栈橋上部工になるべく特化し、より実務に生かせる技術情報を示すことを目標とした。

「PC栈橋技術マニュアル（2010年版）」<sup>2)</sup>に記載があるように、PC栈橋上部工は、各径間に並列架設されたプレキャストPC桁を間詰めコンクリートと横方向プレストレスによって一体版構造としたものと定義されている。PC栈橋上部工に用いるプレキャストPC桁は、プレテンションホロー桁、プレテンションT桁、プレテンションPC床版等が考えられるが、本手引き（案）ではこれまでの工事実績が多い以下の構造を対象とする。

- ①プレテンションホロー桁
- ②プレテンションT桁

桁受梁と連結部については、RC構造であることからここでは対象としない。

## 1.2 本手引き（案）における維持管理の基本的な考え方と本手引き（案）の構成

本手引き（案）におけるPC栈橋の維持管理の基本的考え方のフローを図-1.1に示し、本手引き（案）がPC栈橋上部工の維持管理においてどのような位置づけとなるかを図-1.1中の右列に記載する。

PC栈橋上部工では、港湾の施設の点検診断ガイドライン<sup>4)</sup>において示されるように、日常点検、一般定期点検診断および詳細定期点検診断などが行われる（図-1.2参照）。日常点検は陸上からの目視により行われ、一般定期点検診断では、陸上及び海上からの目視により点検診断されることが標準であり、まず目視調査が実施されることとなる。このような目視点検では、本手引き（案）の2章、3章が参考になる。2章ではPC栈橋上部工の劣化・損傷の形態と技術の変遷を示し、3章ではPC橋梁の例を参考に目視点検における着目点を示した。

日常点検や定期点検の調査結果から、PC栈橋上部工では、表-1.1に示されるように、ひび割れがある場合または錆汁がある場合には劣化度aと判定される。点検診断において劣化度aと判定された場合、表-1.2に示すように「部材の性能が著しく低下している状態」とみなされる。この判定結果をもとに、港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>5)</sup>では、劣化度aのなかでもひび割れにおける錆汁の有無、剥離・剥落があるか等を目安として、表-1.3～表-1.5に示されるように性能判断の区分Ⅱ～Ⅳに分類することとなる。この区分をもとにPC栈橋上部工に対して補修・補強工法を選定するフローが、港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>5)</sup>のP120に記載されている。

しかし、港湾の施設の点検診断ガイドライン<sup>4)</sup>や港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>5)</sup>では、劣化度の判定や性能判断の区分を分類する場合において、ひび割れの幅・長さ・本数、錆汁面積、変状箇所等について定量的な判定基準はない。そのため4章で示したPC栈橋に特化した詳細点検診断の選定シートをもとに、より詳細な点検診断を行うことで各ケースに応じた対策を選定できるようにした。例えば、鉄筋やPC鋼材が腐食しており劣化度a区分Ⅳに分類された場合に、詳細な調査結果をもとに5章に示すような構造解析を伴う耐力評価を行うことで、劣化を生じたPC栈橋上部工の定量的な性能評価を行える可能性がある。

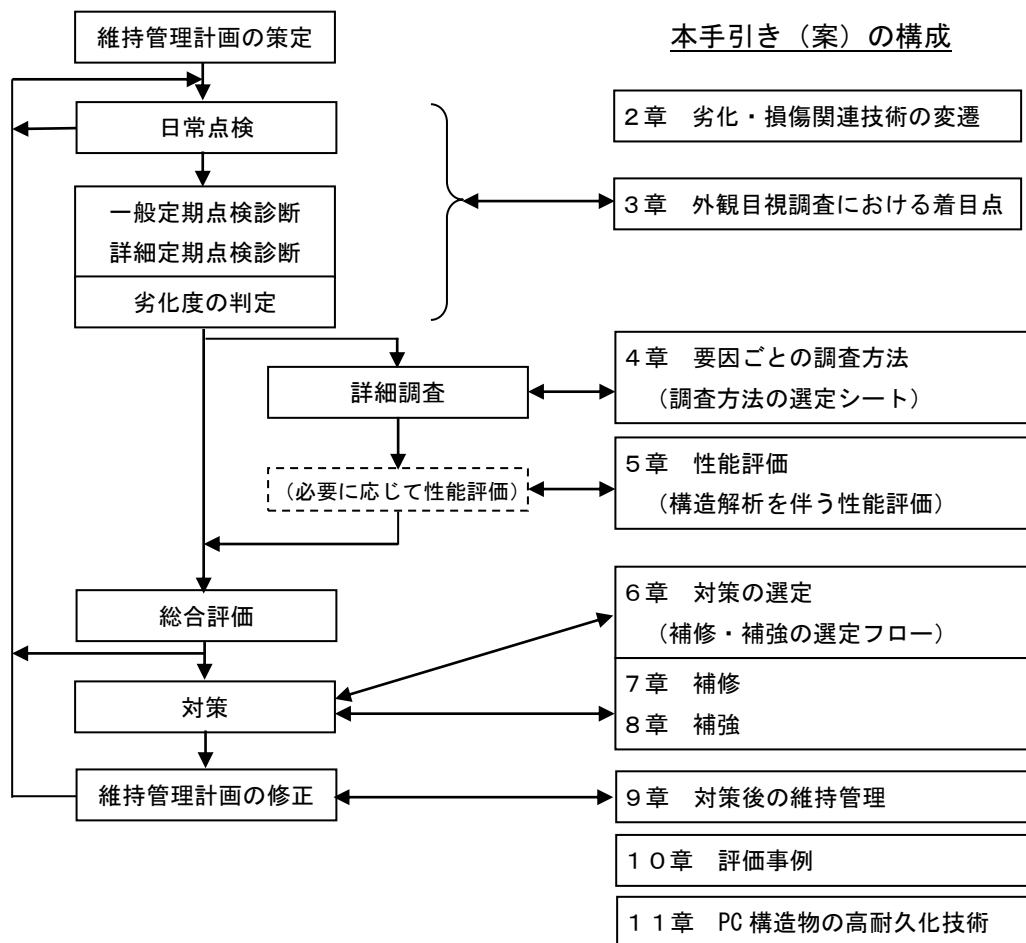


図-1.1 本手引き（案）における維持管理の基本的な考え方と本手引き（案）の構成

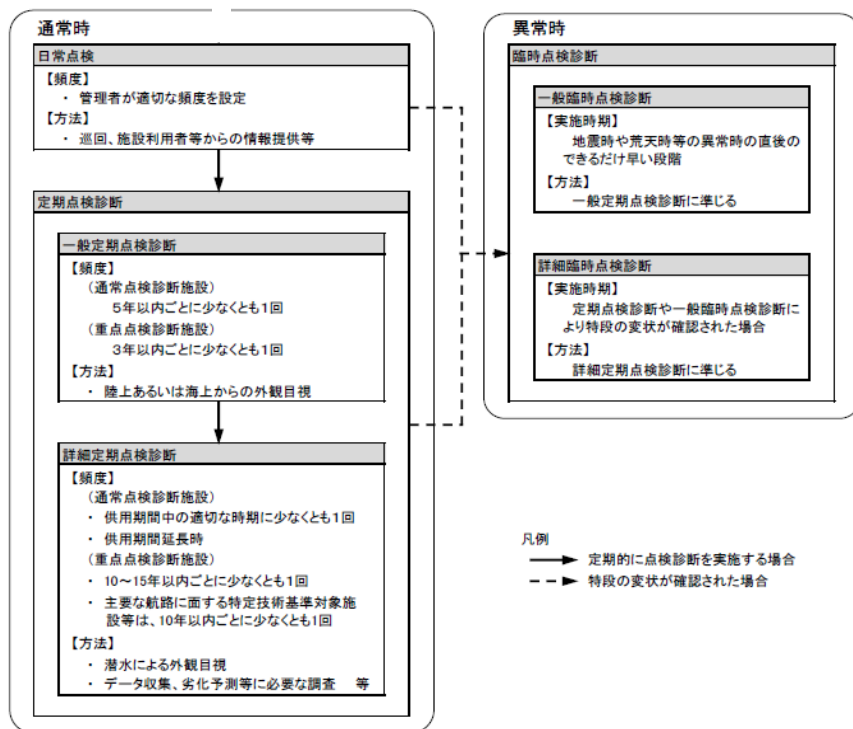


図-1.2 点検診断ガイドラインにおける点検診断の流れ<sup>4)</sup>

表-1.1 点検診断ガイドラインにおける点検診断の項目と劣化度の判定基準<sup>4)</sup>

点検診断項目の分類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準
I類	上部工 (下面部) (PCの場合)	目視 ・ひび割れの発生状況 ・鏽汁の発生状況	a <input type="checkbox"/> ひび割れがある。
			b <input type="checkbox"/> 鏽汁がある。
			c <input type="checkbox"/> 鏽汁なし。
			d <input type="checkbox"/> 変状なし。

表-1.2 点検診断ガイドラインにおける部材の劣化度の判定基準<sup>4)</sup>

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

表-1.3 PC構造物の性能判断の区分<sup>5)</sup>

区分	変状【外観状況】から判断される健全性評価【性能診断】	対策の方向性
I	健全	不要
II	劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。	予防保全
III	劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性は殆ど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。	補修 耐久性保持が主目的
IV	劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。	補修・補強 耐荷性保持が主目的

表-1.4 プレキャストPC桁下面の外観状況に応じた性能判断の区分 (案) <sup>5)</sup>に一部追記

劣化度	外観状況	性能判断の区分	診断
a	PC桁下面にPC桁の部材軸方向のひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられるが、錆汁は確認できない。	区分Ⅱ	PC鋼材は腐食しておらず、当初の性能を有している。
	PC桁下面にひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられ、ひび割れからの錆汁の析出が確認できる。	区分Ⅲ	PC鋼材の外側にある鉄筋の腐食が進行している。今後、PC鋼材の腐食が進行する可能性があり、耐力の低下が懸念される。
	PC桁下面のPC鋼材の腐食が進行し、コンクリートの剥離、剥落が生じている。	区分Ⅳ	PC鋼材が著しく腐食しており、PC鋼材が破断している可能性がある。PC桁の耐力不足が懸念される。

表-1.5 間詰め部（横締めPC鋼材を含む）の外観状況に応じた性能判断の区分 (案) <sup>5)</sup>

劣化度	外観状況	性能判断の区分	診断
a	間詰め部から漏水（水しみ）を生じているが、錆汁など鋼材腐食の兆候は認められない。	区分Ⅱ	漏水が打継目を貫通する鉄筋や横締めPC鋼材に影響を及ぼしているが、腐食は発生していない。
	中空床版間詰め部から漏水（水しみ）を生じており、漏水に錆汁の発生や局所的な腐食ひび割れ、剥離などが認められる。	区分Ⅲ	漏水の作用により、打継目を貫通する鉄筋や横締めPC鋼材に腐食を生じている可能性がある。今後、耐力の低下が懸念されるほか、PC鋼棒の場合は、突出も懸念される。
	舗装面および栈橋上部工下面で、間詰め位置に沿ったひび割れが多数生じている。	区分Ⅳ	間詰め部を貫通する鉄筋や横締めPC鋼材の腐食・破断により、横方向の剛性が低下し、PC桁に段差が生じている可能性がある。耐力不足が懸念されるほか、PC鋼棒の場合は、突出も懸念される。

そこで本手引き（案）では、図-1.3に示すように港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>5)</sup>の選定フローをアレンジし、目視による一般定期点検診断が行われたあとの標準的な補修・補強工法の選定フローを作成した。詳細な説明は6章に示すが、劣化度aと判定された場合に、各部材での性能判断の区分に応じて詳細点検診断の方法を決定し、その結果から対策工法を選定できるようにした。

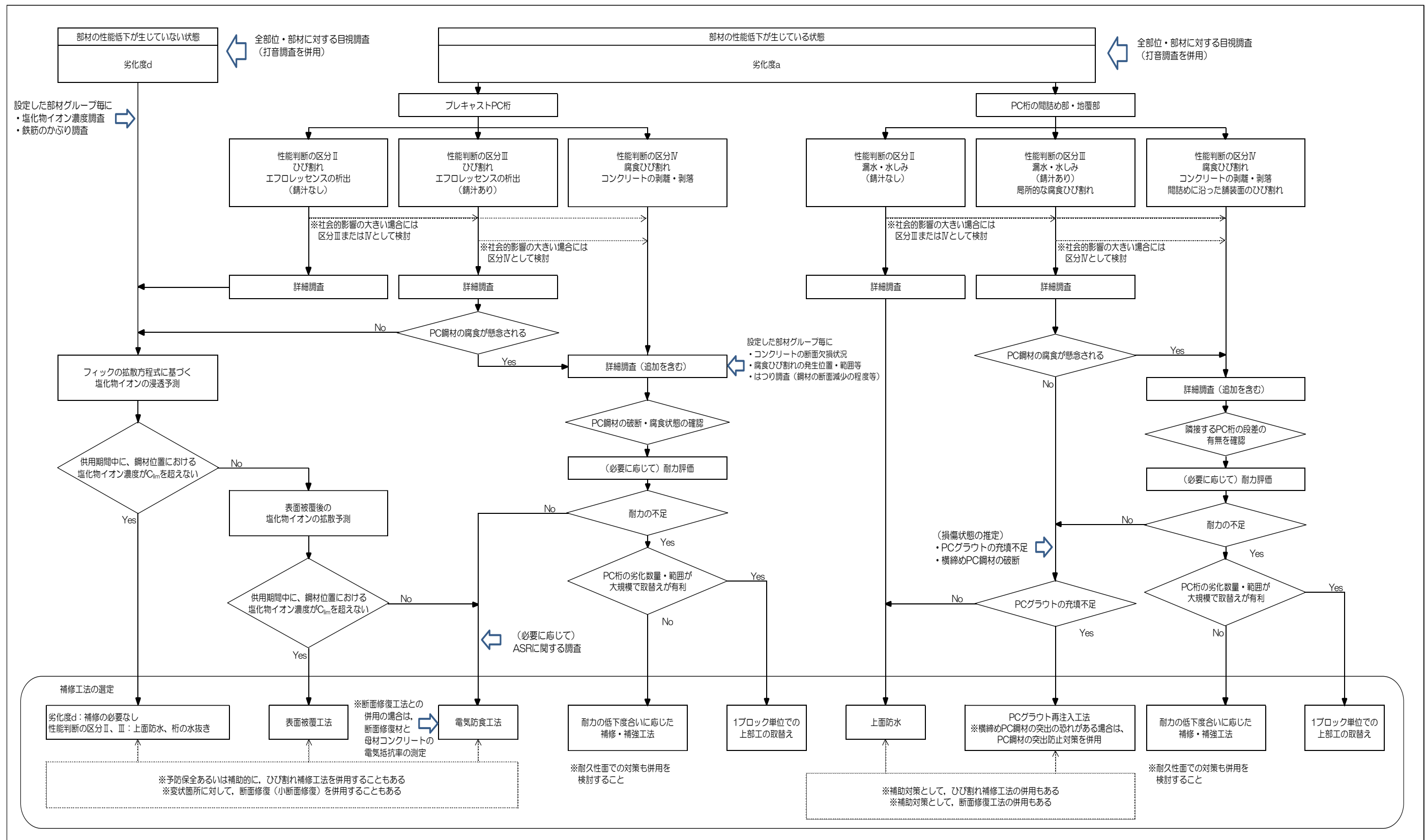
なお、本手引き（案）では図-1.3に示す補修・補強工法の選定フローにおいて、必要に応じて構造解析を伴う性能評価を行うことを盛り込み、5章において、PC橋梁の例を参考に、PC鋼材が一部破断した場合の耐力評価を格子解析やFEM解析により行い、技術者の高度な判断により性能評価する構造解析手法や制限値について示した。これらの構造解析手法による性能評価に関しては、田中らによる「劣化したPC栈橋上部工の応答解析に関する検討」<sup>6)</sup>に詳細に記されており参考にするが良い。

7章、8章では補修・補強工法について、また9章では維持管理についてPC栈橋上部工に特化した留意点等を示した。

10章にはケーススタディとして、劣化したPC栈橋上部工の構造、寸法、供用期間を想定し、そのときの一般定期点検診断結果と劣化度を設定した上で、4章から9章までに記載した詳細点検診断の選定シート、構造解析を伴う性能評価、詳細点検診断以降のフローの具体的な活用方法について示した。

最後に11章でPC栈橋にも適用できる可能性のあるPC橋に適用されている高耐久化技術を示した。





「 $C_{im}$ : 鉄筋腐食発生限界濃度」

図-1.3 PC 橋橋上部工における標準的な補修・補強工法の選定フロー（案）

### 1.3 用語の説明

本手引き（案）で用いる用語の意味は次のとおりである。

#### 1) プレテンション方式

緊張材に引張力を与えておいてコンクリートを打ち込み、コンクリート硬化後に緊張材に与えておいた引張力を、緊張材とコンクリートの付着によりコンクリートに伝えてプレストレスを与える方法

#### 2) ポストテンション方式

コンクリート硬化後、緊張材に引張力を与え、その端部をコンクリートに定着させてプレストレスを与える方法

#### 3) プレテンションホロー桁

断面の中心に中空部を設けた PC 桁で、プレテンション方式によるもの

#### 4) プレテンション T 桁

断面が T 形をした PC 桁で、プレテンション方式によるもの

#### 5) PC 鋼材

主に、プレストレスを与えるために用いる高強度の鋼材

#### 6) 緊張材

コンクリートにプレストレスを導入するために用いる引張材で PC 鋼材または新素材で構成されたもの

#### 7) 定着具

緊張材の端部をコンクリートに定着し、プレストレスを部材に伝達するための装置


#### 8) シース

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート部材において、緊張材を収容するため、あらかじめコンクリート中にあけておく穴を形成するための筒。PC 栈橋では横締め用に使われる


#### 9) グラウト

緊張材の腐食を防止し、また、緊張材と部材コンクリートの間に付着を生じさせるために緊張材とダクトの隙間に注入して充填するセメントを主材料とした注入材料

#### 10) 間詰め

主桁間の場所打ち部（「-3.2 水の浸入経路に着目した外観目視調査の例（T 桁）」参照）

#### 11) 横締め PC 鋼材

主桁同士の横方向の一体化を図るため橋軸直角方向に配置する PC 鋼材（「-3.1 水の浸入経路に着目した外観目視調査の例（ホロー桁）」参照）

#### 12) 偏向部（偏向具）

外ケーブルを偏向させ、外ケーブルの位置を保持するための部位（偏向部）

また、その部位に配置する PC 鋼材の位置を保持する器具（偏向具）

#### 13) 版理論

床版橋や格子桁橋の荷重分配を考慮した断面力を、上部工全体を一つの版とみなして算出する理論。主版の剛性が方向によらず同じであると仮定した等方性版理論と、主版の剛性を方向ごとにそれぞれ仮定する直交異方性版理論とがある。直交異方性版理論による断面力算出方法としてギヨン・マツネによる手法がある。

#### 14) 格子構造理論

床版橋や格子桁橋の荷重分配を考慮した断面力を、上部工を並列する数本の主桁とそれらに交差する数本の横桁とが格点において接合された格子骨組モデルに置換して算出する理論。

#### 15) 非線形 FEM 解析

“材料学的非線形性”“幾何学的非線形性”の一方、もしくは、両方を考慮した FEM 解析。材料学的非線形性を考慮した解析では、たとえば、コンクリートのひび割れ発生、鋼材の降伏など、材料の応力-ひずみ関係を非線形でモデル化する。幾何学的非線形性を考慮した解析は、変形が大きな問題に用いられ、変形後の形状での力の釣合いを考慮する

## 16) 荷重分配

主桁と横桁からなる構造において、主桁に荷重を載荷した際に横桁の剛性により各主桁に分担される荷重の配分のことをいう。荷重の分配効果は、横桁の剛性が大きいと各桁への分配効果が高く、載荷荷重は分散され、剛性が低いと分配効果が低く、載荷直下の主桁への負担が大きくなる

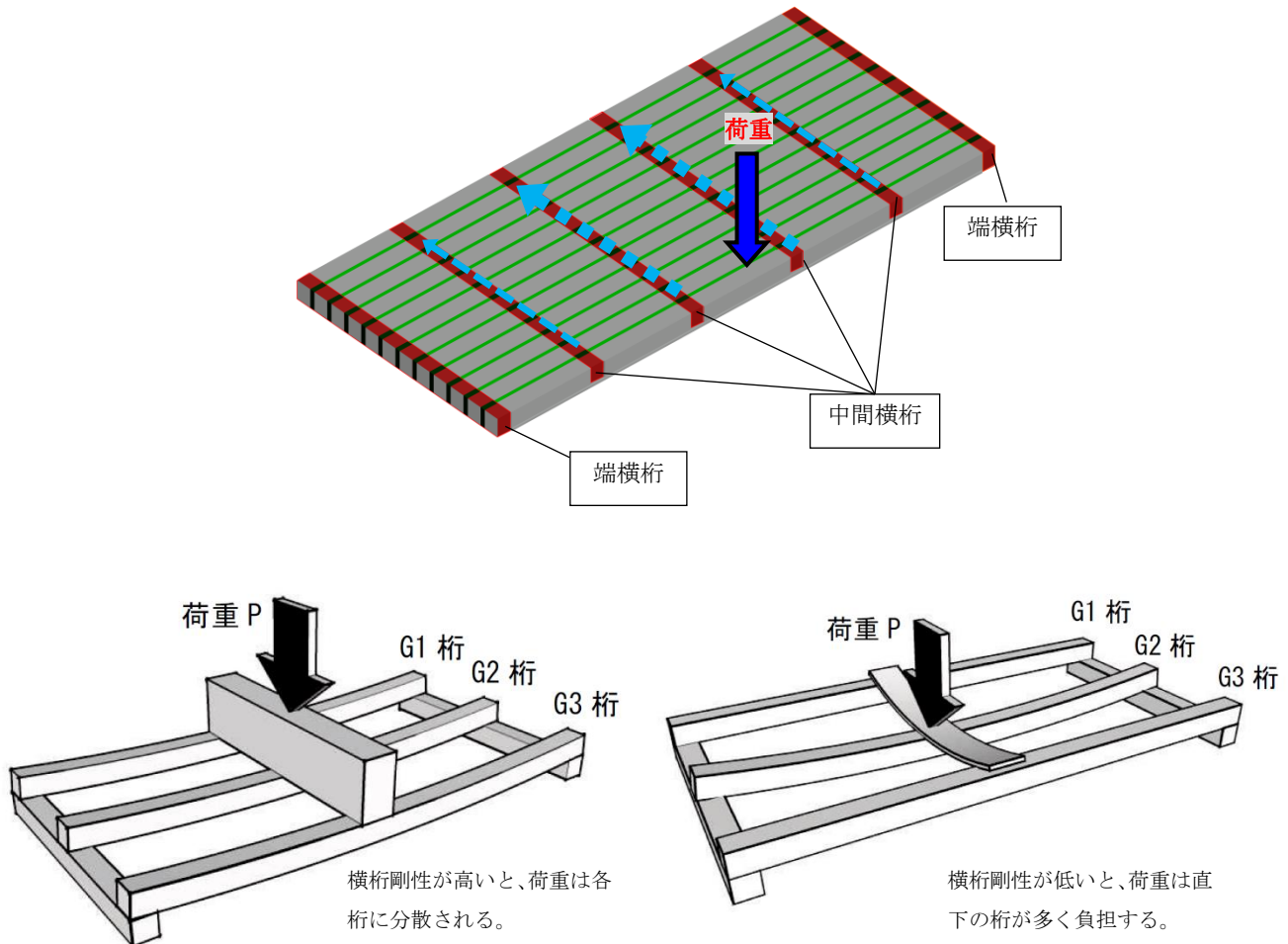


図-1.4 荷重分配のしくみ

## 17) フルプレストレス

一般に曲げ部材の引張側において、有効プレストレスによるコンクリートの縁応力が、荷重作用によって生じる応力度以上で、コンクリートが圧縮応力状態となるようなプレストレスの導入レベルをさす。

道路橋や鉄道橋の一般部材は、経済性やクリープ変形抑制の観点から、変動荷重状態だけでなく永続荷重状態も引張応力を許容するパーシャルプレストレスで設計される。しかし、「PC 栈橋技術マニュアル (2010 年版)」<sup>2)</sup>によると、港湾の PC 栈橋の設計では、耐久性の観点から永続荷重状態はフルプレストレスで、またクリープ変形の抑制や経済性の観点から、変動荷重状態は曲げひび割れ強度まで許容する (ひび割れは許容しない) パーシャルプレストレスで設計される。ただし、PC 栈橋技術マニュアルの発刊前は、永続荷重状態だけでなく、変動荷重状態でもフルプレストレスで設計されている場合がある。

## 18) 有効プレストレス

コンクリートのクリープおよび乾燥収縮、PC 鋼材のリラクセーションによって PC 鋼材の緊張力が若干低減した状態に対して、設計計算で見込んでいた部材断面に導入されている圧縮応力

## 19) 残存プレストレス

PC 鋼材の一部が破断している等の場合には設計で想定している圧縮応力よりも小さくなっている可能性があり、実際に

部材断面に導入されている圧縮応力

20) 外ケーブル方式

緊張材を既設コンクリート部材の外部に配置し、定着部を介してプレストレスを導入する方法

21) リラクゼーション

一定のひずみを保持した状態で、時間の経過とともに応力が減少する現象

22) 補修

変状により性能が低下した構造物や部材の力学的性能又は耐久性、あるいは両者を、当初の水準を超えないレベルまでに回復させる行為、あるいは、当初保有していた水準を超える耐久性を付与する行為

23) 補強

部材が当初に保有していた水準を超える力学的性能を付与する行為

参考文献

- 1) 港湾 PC 構造物研究会ホームページ
- 2) (一財) 沿岸技術研究センター：PC 栈橋技術マニュアル（2010 年版）
- 3) (一財) 沿岸技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル（改訂版），2018 年 7 月
- 4) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン，2018 年・2020 年・2021 年一部変更
- 5) (一財) 沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，2018 年 7 月
- 6) 田中豊，川端雄一郎，加藤絵万，鈴鹿良和，河邊修作，中嶋道雄，石井豪，立神久雄，小笠原哲也：劣化した PC 栈橋上部工の構造性能に関する解析的検討，港湾空港技術研究所報告，Vol.60，No.3，pp.3-67，2021.12.

## 2. 劣化・損傷と関連技術の変遷

### 2.1 PC栈橋上部工の損傷形態

PC栈橋上部工の部位・部材ごとにおいて、劣化度aと判定される場合の主な損傷形態（変状パターン）を下記に示す。

#### 2.1.1 ホロー桁

##### (1) 主桁部

ホロー桁の概要図を図-2.1に示す。ホロー桁の主桁に発生する主な変状パターンには、図-2.2に示すコンクリートの膨張収縮や腐食に起因する主桁下面に発生する部材軸方向のひび割れ、図-2.3に示す耐力不足などが要因と考えられる主桁側面および底面に発生する曲げひび割れ、図-2.4に示すかぶり不足などが要因と考えられる主桁側面および底面に発生する部材軸直角方向ひび割れがある。なお、図-2.4の主桁側面のひび割れは間詰コンクリートにより目視確認できない場合が多い。

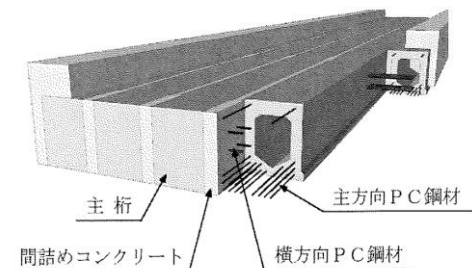


図-2.1 ホロー桁概要図<sup>1)</sup>

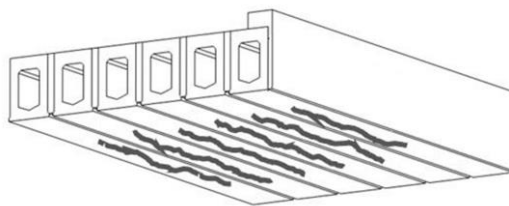


図-2.2 部材軸方向のひび割れ



図-2.3 曲げひび割れ

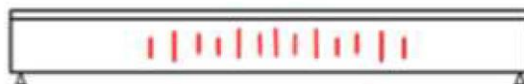


図-2.4 部材軸直角方向のひび割れ

##### (2) 間詰め部・横締め部

ホロー桁の間詰め部・横締め部に発生する主な変状の発生位置を図-2.5に示す。間詰部や横締め部の主な変状パターンは、乾燥収縮や横締めプレストレスの不具合による間詰部下面からの漏水やひび割れがある。また、劣化状況によっては、舗装面に間詰め部に沿ったひび割れや、写真-2.1に示す桁側面に横締めPC鋼棒が突出することがある。

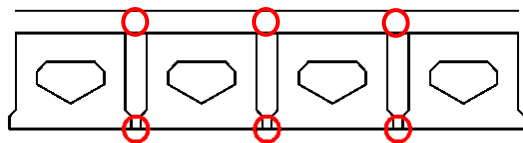


図-2.5 間詰め部の漏水やひび割れ（断面図）



写真-2.1 横締め鋼棒の突出<sup>2)</sup>

#### 2.1.2 T桁

##### (1) 主桁部

T桁の概要図を図-2.6に示す。T桁の主桁に発生する主な変状パターンには、図-2.7に示すコンクリートの膨張収縮や腐食に起因する主桁下面に発生する部材軸方向のひび割れ、図-2.8に示す耐力不足などが要因と考えられる主桁側面および底面に発生する曲げひび割れ、図-2.9に示すかぶり不足などが要因と考えられる主桁側面および底面に発生する部材軸直角方向ひび割れがある。

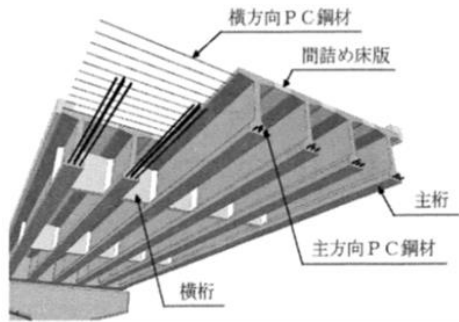


図-2.6 T桁概要図<sup>3)</sup>

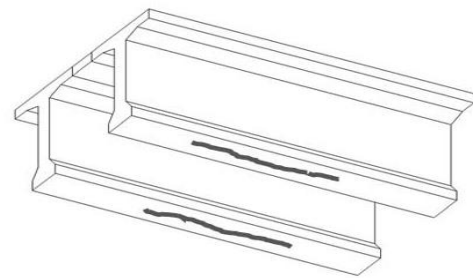


図-2.7 部材軸方向のひび割れ

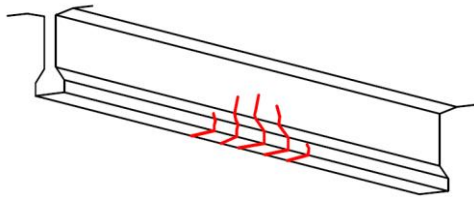


図-2.8 曲げひび割れ



図-2.9 部材軸直角方向のひび割れ

(2) 間詰め部・横締め部

T桁の間詰め部・横締め部に発生する主な変状パターンには、図-2.10に示す乾燥収縮や横締めプレストレスの不具合による間詰め部下面の打継目からの漏水やひび割れがある。また、劣化状況によっては、舗装面に間詰め部に沿ったひび割れや、桁側面に横締めPC鋼棒が突出することがある。T桁はホロー桁よりも間詰め部の面積が大きく、劣化状況によっては打継目以外の部分においても広範囲にひび割れや剥離が発生することがある。

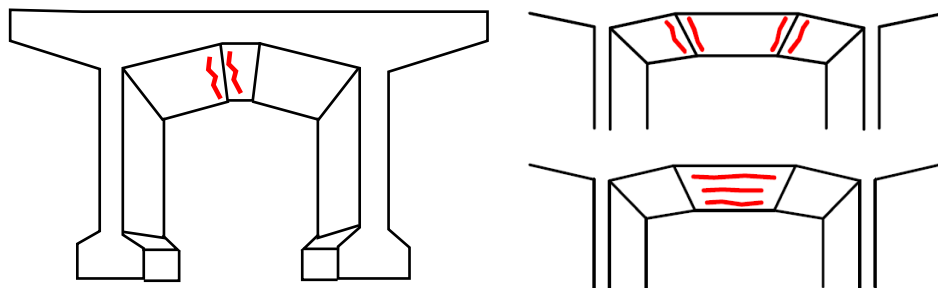


図-2.10 間詰め部の漏水やひび割れ

2.2 PC栈橋上部工の劣化要因

PC栈橋上部工の主な劣化要因を下記に示す。なお、各劣化要因の詳細については、「コンクリート構造診断技術、(公社)プレレストコンクリート工学会」<sup>4)</sup>や「コンクリート診断技術、(公社)日本コンクリート工学会」<sup>5)</sup>等を参照のこと。

2.2.1 設計および施工などの要因

(1) 材料的要因

1) 乾燥収縮

乾燥収縮は、乾燥によりコンクリート中の含水率が小さくなることで生じる収縮である。主桁コンクリートの乾燥収縮が大きいと、主桁の下縁で軸方向に沿ったひび割れが発生することがある。また、間詰コンクリートは隣接する主桁によって拘束をうけるため、材料の乾燥収縮量が大きいと、横方向や界面においてひび割れが発生して漏水することがある。

2) アルカリシリカ反応

アルカリシリカ反応 (ASR) は、骨材中に含まれる反応性珪物とコンクリート中のアルカリ金属イオン (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) を主成分とする水溶液との化学反応によって生成されるアルカリシリカゲルが、吸水膨張することでコンクリートにひび割れやポップアウトを発生させる現象である。

ASRによる劣化の発生は、主として使用骨材の反応性(反応性鉱物の種類とその含有量)、コンクリートの配合(セメントのアルカリ量とコンクリートの単位セメント量)、および構造物が曝される環境条件(水分およびアルカリの供給条件、温度など)に影響され、ひび割れの発生・進展は、上記に加えて構造物の鉄筋量やコンクリートの拘束条件に影響される。

これまでASRが発生した構造物の維持管理においては、ひび割れによる鉄筋腐食の発生や美観・景観への配慮に関心が払われてきた経緯がある。しかし、近年ASRによる鉄筋の曲げ加工部や圧接部の破断が確認され、その実態やメカニズムが検討されるなど、構造物の構造性能に影響を及ぼす重大な損傷が発生する可能性があることが指摘されている。

一般的なコンクリート構造物では、亀甲状のひび割れが発生することが多いが、プレストレスが導入されている場合には、プレストレス導入方向(軸方向)にひび割れが発生する特徴がある。

## (2) 設計的要因

高密度配筋によるコンクリートの充填不足といった設計的な要因が考えられる。PC鋼材の変遷は、細径のラインナップから開発整備が進んだ背景があり、古い桁ほど細径多数配置の傾向にある。鋼材のあきは、プレテンション部材の端部では鋼材の比較的大きい付着力に配慮して鋼材直径の3倍以上、また粗骨材径の4/3倍以上と規定しているため、細径ほどコンクリートの充填性は困難であった。近年は、そうした充填性への配慮から改善が見られ、例えば平成3年のJIS化以前のホロー桁内側の下ハンチ付近は、PC鋼材が密に配置されていたため、コンクリートの充填性が悪く豆板などの欠陥が発生しやすい鋼材配置であったが、平成3年度のJIS化では、鋼材径を上げて配置本数を減らし、十分なあきを確保することで改善されている。

## (3) 施工的要因(配筋かぶり、豆板、コールドジョイント、沈下、水和熱、定着部、PCグラウト)

施工においては、初期欠陥を引き起こす様々な要因が存在する

### 1) 配筋かぶり不足

工場のプレキャスト桁製作において、配筋の施工誤差によって、かぶりが設計より小さくなってしまった箇所については、塩害や中性化による影響で腐食ひび割れが発生しやすい可能性がある。

### 2) 豆板

コンクリートの締固め不足による豆板は、ホロー桁の下面や、T桁のハンチ部など、挿入型振動機が入れづらく、逆打ちとなる部分で比較的発生しやすい。

### 3) コールドジョイント

コンクリートを打重ねる際、時間間隔が空きすぎたために、打ち重ね界面のコンクリートが一体化しない状態となることをコールドジョイントとよび、特に乾燥の早い夏場で発生リスクが高く、構造、耐久性能の低下をもたらす。

### 4) 沈降クラック

締固め後のコンクリートは、ブリーディング水の上昇に伴って下方に沈降する。打上げ速度が速い場合やブリーディング量が多い場合に沈下量が大きくなり、沈下を拘束する型枠やセパレータ付近においてひび割れが発生する。

### 5) 水和熱に起因するひび割れ

コンクリートには熱膨張する特性があり、セメントの水和発熱反応に伴って硬化時のコンクリートは膨張し、また、反応の収束にともない徐々に温度低下して収縮する。この水和熱に伴う膨張収縮を型枠が外部拘束することで発生するひび割れと、脱型時の表層の急激な温度低下から内部拘束で発生するひび割れがある。

### 6) 定着部付近の劣化

現場施工では、定着部の後埋めコンクリート締固め不足や逆打ち部等において、本体コンクリートとの一体性が不十分であった場合、この部位への水の浸入が定着部の腐食原因となり、錆汁や遊離石灰が滲出する可能性がある。

### 7) PCグラウトの充填不足

PCグラウトの充填が必要なポストテンション方式の横締めPC鋼材が配置された横締め部等において、PCグラウトが良好に充填されていない場合には、水や塩化物イオンといった劣化因子が侵入しやすいため、PC鋼材が腐食し破断するケースがある。また、PC鋼棒が使用されている場合には、材料組成による破断形態、定着構造、鋼材断面積が異なるため、破断による突出の危険性がある。

## 2.2.2 環境作用などの要因

### (1) 塩害

塩害とは、コンクリート中の鋼材腐食が塩化物イオンの存在により進行し、腐食生成物の発生に伴う体積膨張がコンクリートにひび割れや剥離を引き起こし、鋼材の断面減少を伴うことにより、構造物の性能が低下し構造物が所定の機能を果たすことができなくなる現象である。

PC構造物では、PC鋼材は健全で鉄筋のみ腐食しているような状態であれば、耐荷力の低下はそれほど顕著ではなく、コンクリートのひび割れや剥離、剥落による耐久性の低下や、美観、第三者被害等の影響が問題となる。しかし、PC鋼材の腐食発生後は、耐荷力の低下が懸念されるため、鋼材が著しく腐食しているような場合には十分な検討が必要である。

港湾構造物は塩害が主な劣化要因であることが多く、塩化物イオン濃度の浸透予測が義務付けられた平成19年制定の「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、港湾基準）が適用される以前に建設されたPC栈橋上部工については、特に注意が必要である。

また、昭和30年代後半頃からの天然骨材の枯渇化の影響から、西日本では比較的多くの海砂が使用されてきており、特に昭和61年の塩化物総量規制前に建設された施設については、塩化物含有量が大きい可能性があるなど、地域によっては内在塩分に注意する必要がある。

### (2) 中性化

中性化とは、コンクリート中に二酸化炭素や各種酸などが侵入することによって、コンクリートの表面から次第にアルカリ性が失われていく現象である。中性化領域が鉄筋近傍まで進行すると、鉄筋の不動態被膜が破壊され、水分や酸素の供給ともなって腐食が進行する。

また、火災等によりコンクリートが高温に曝された場合にも、中性化が進行することがある。

PC構造物においては、一般のコンクリート構造物よりも水セメント比が低いため中性化の進行は遅く、RC構造部分を除いて、中性化に起因する劣化が生じることは極めてまれである。

一般に、港湾構造物においては、コンクリートが湿潤状態にあり、塩害と比較して中性化の進行は極めて緩やかであるため、中性化に対する点検・調査は、港湾構造物の耐久性評価の観点から、重視しないことが多い。しかし、コンクリートが海上大気中に位置する場合やかぶり小さい場合、中性化によりコンクリート中の鉄筋腐食が進行する可能性もあるため、中性化深さの把握が必要となることもある。

また、コンクリート表層部に中性化が生じている場合は、コンクリート中の塩化物イオン濃度分布に影響を及ぼし、鉄筋腐食を早めることもある。このため、塩害の進行予測・評価を行う場合においても、コンクリートの中性化深さの把握が必要となるケースもある。

### (3) 凍害

凍害は、コンクリート中の水分の凍結膨張によって発生するものであり、長期にわたる凍結と融解の繰返しによってコンクリートが徐々に劣化する現象である。凍害を受けたコンクリート表面では、微細ひび割れ、浮き・剥離、スケーリング、ポップアウトなどにより劣化が顕在化する。AEコンクリートを使用している場合、凍害が構造物の耐力に影響を与えることは少ないが、美観および使用性に影響することがある。また、海水や凍結防止剤に含まれる塩化物イオンがコンクリート中に供給される状況で凍結融解作用を受けると、スケーリングが促進されやすくなる。

PC構造物において、PC部材は水セメント比が小さく、セメント量も多いため凍害を受けることはあまりないものの、RC構造部位では凍害が問題となることがある。

### (4) 荷重作用

設計で考慮されている上載荷重よりも大きな荷重が載荷された場合、栈橋構造物には曲げひび割れや過大なたわみを生じることがある。

また、巨大地震によって設計で想定した以上の地震外力や、津波外力、漂流物荷重が構造物に作用した場合、これによってひび割れ、構造物の移動、衝突による欠け等の損傷が発生する可能性がある。たとえば、台風時の強風によって漂流した船舶の接触・衝突によりPC桁が損傷した事例として、写真-2.2に示す令和元年の台風15号による船舶衝突被害がある。





a) 損傷径間の全景  
b) 支点部付近の近景  
写真-2.2 大型船舶の衝突によるプレキャストPC桁の損傷事例<sup>6)</sup>

### 2.3 劣化要因を推定する上で留意すべき事項（過去の変遷）

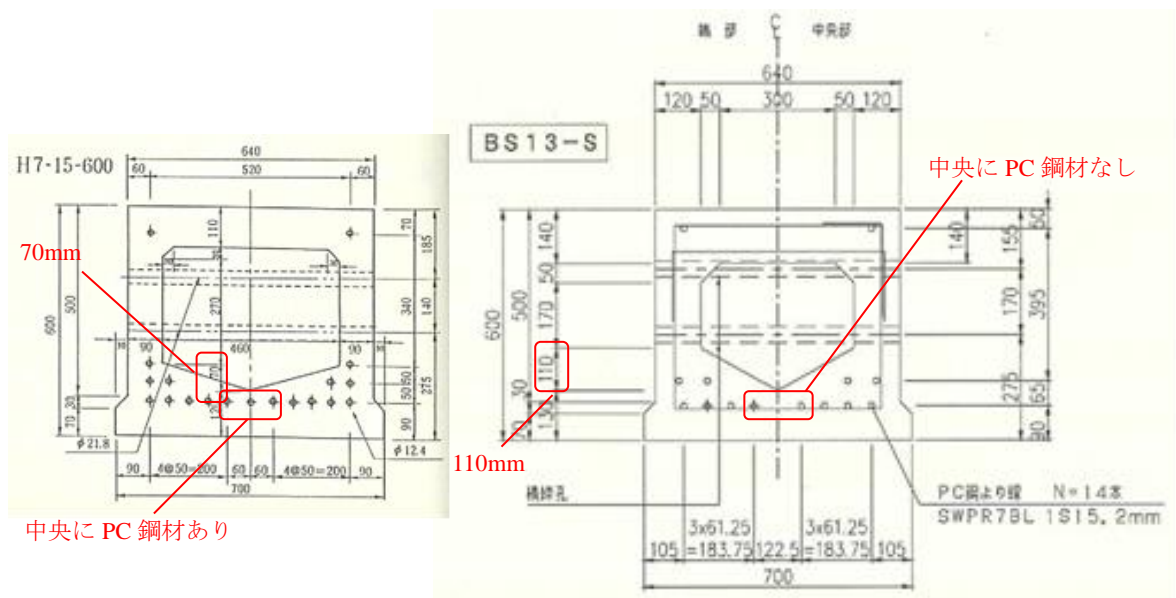
点検・調査・診断を行う上で施工年代の違いによる配慮が必要と思われる設計または材料に関する規定事項について以降に示す。

#### 2.3.1 設計

##### (1) ホロー桁の断面桁形状

ホロー桁断面の年代による形状の違いを図-2.11に示す。

平成3年のJIS A 5313「道路橋用プレストレストコンクリート橋げた」へのホロー桁断面採用時に、内型枠下ハンチ部分のコンクリートの充填性向上を目的として、内型枠下ハンチの角度がJIS化以前のものよりも急勾配（約 $20^{\circ}$   $\Rightarrow$   $30^{\circ}$ ）とされている。また、使用されるPC鋼材もJIS化以前から順次変更されており、単線からより線へ変更されることでPC鋼材1本当たりの断面積の増加により、同等のプレストレス量を確保する際のPC鋼材本数が少なくなり、鋼材配置も充填性に配慮してハンチ交差部の直下に配置しない断面となっている。



(a) H3以前の建設省標準断面

(b) H3のJIS断面

左：PC栈橋の設計・施工法調査報告書（概要編）平成元年（1989年）4月，（財）沿岸開発技術研究センター，p.26<sup>7)</sup>

右：PC栈橋技術マニュアル（2010年版）平成22年9月，（財）沿岸技術研究センター，参考資料3，p.3<sup>8)</sup>

図-2.11 ホロー桁断面の変更

### (2) 鋼材のかぶり規定

港湾基準におけるかぶりに関する記載内容を表-2.1に示す。港湾基準では、かぶりの標準値は昭和54年3月以降現在まで変更はない。ただし、平成19年以降は、塩分の浸透予測式や鋼材の腐食発生限界値が示され、性能照査を行うことのできる記載内容となっている。

なお、「PC栈橋の設計・施工法調査報告書（概要編），平成元年4月，（財）沿岸開発技術センター」に収められている付属資料「PC栈橋の基本設計例」<sup>9)</sup>では、プレキャストPC桁のかぶりを5cmとして例示している。

また、「PC栈橋技術マニュアル（平成15年）」<sup>10)</sup>には、実績調査の範囲では最小かぶりを5cmとした例が多いとの記載がある。

表-2.1 かぶりの変遷（港湾基準）

港湾基準	かぶりの標準値		記載の変更点	耐久性との関連
	海水に直接接する部分，海水で洗われる部分，及び激しい潮風を受ける部分	左記以外の部分 ※H19から「一般的環境」と併記		
S54.3	7cm	5cm	「材料」の章に記載	記載なし
H1.6			「蒸気養生を行っている場合には、コンクリートの耐海水性に問題がある可能性があるため、かぶりの低減は行わないのが望ましい」と追記	
H11.4			PCの設計に用いるマニュアルが、「プレストレストコンクリート設計施工指針(土木学会)」から、「プレストレストコンクリート港湾構造物設計マニュアル(運輸省港湾局)」へ	
H19.7			<ul style="list-style-type: none"> <li>かぶりの記載が、「材料」の章から「技術基準対象施設に共通する事項」の章に移動</li> <li>「蒸気養生・・・かぶりの低減は行わないのが望ましい」の文言がなくなり、「工場製品で十分な検討がなされた場合」はかぶりを低減できると記載</li> </ul>	かぶりの標準値と鉄筋腐食発生限界濃度(2.0kg/m <sup>3</sup> )との関連が記載されている
H30.5			<ul style="list-style-type: none"> <li>上記にくわえ、「鉄筋腐食を防止するための方策」，「非腐食性の補強材」を用いる場合は、かぶりを低減できると記載</li> </ul>	

### (3) 部分係数（安全係数）

PC栈橋の設計に関するマニュアル類の改定により、例えば、部分係数や作用の組合せなど、構造部材の照査に関する内容が年代により異なる。なお、既設構造物の維持管理を目的とした耐力評価を行う際には、建設時の基準を適用することとなる。

参考として、各年代の基準類に記載の荷重（作用）の組合せと荷重係数を表-2.2から表-2.4に示す。

なお、それぞれの基準類は、直近の港湾基準の改定に準拠するように改訂されている。

表-2.2 荷重の組合せと荷重係数 (PC栈橋の設計に関する技術資料, 平成元年4月, (財) 沿岸開発技術センター) 11)

状態	プレキャスト 桁自重	間 コンクリート 自重	プレストレスカ	クリーブ 二次力	連結部 + 下部工自重	橋面自重	積載荷重	活荷重	防衛工反力	陽圧力	地震力	風圧力	船 けん引力	施工時荷重	備 考
①	1.0	1.0	1.0												単軸梁構造系の検討
	1.1	1.1													
②	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									永久荷重作用時の検討
	1.1	1.1			1.1	1.1									
③	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								
	1.1	1.1			1.1	1.1	1.5								
④	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									
	1.1	1.1			1.1	1.1									
⑤	0.9	0.9			0.9	0.9				1.0					
	1.1(0.9)	1.1(0.9)			1.1(0.9)	1.1(0.9)	1.0				1.0				
⑥	1.0														法線方向の検討
	1.1														
⑦	1.0		1.0												プレストレス導入直後の検討
	1.1														
⑧	1.0		1.0					1.0*						1.0	架設時の検討 * クレーン荷重
	1.1							1.0*						1.0	

(注)上段:使用限界状態に対する荷重係数 下段:終局限界状態に対する荷重係数

( )内は荷重組合せにおいて、小さく考えた方が危険側となる場合の荷重係数を示す。

【PC横桁】

状態	プレキャスト 桁自重	間 コンクリート 自重	プレストレスカ	クリーブ 二次力	連結部 + 下部工自重	橋面自重	積載荷重	活荷重	防衛工反力	陽圧力	地震力	風圧力	船 けん引力	施工時荷重	備 考
①			1.0			1.0	1.0								
					1.1	1.1	1.5								
②			1.0			1.0	1.0	1.0							
					1.1	1.1	1.5								
⑤						0.9				1.0					
						0.9									

(注)上段:使用限界状態に対する荷重係数 下段:終局限界状態に対する荷重係数

表-2.3 荷重の組合せと荷重係数 (PC棧橋技術マニュアル, 平成15年10月, (財)沿岸開発技術センター)

部材	検討時	限界状態	PCフレキャスト桁自重	桁間コンクリート自重	連結部下部工自重	橋面自重	プレストレスカ	コンクリートの収縮及びクリープ	温度の影響	プレストレス2次力	積載荷重	自動車荷重	荷役機械荷重	群集荷重	防衝工反力	船舶牽引力	揚圧力	風荷重	地震力	
施工時 プレキャストPC桁	緊張直後	使用	1.0				1.0	1.0												
	架設時	使用	1.0				1.0	1.0				1.0*								
		終局	1.1				1.1	1.0				1.0*								
	橋桁施工時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0									
		終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0									
	橋面施工時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								
		終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2								
	積載荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0					
		終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2			1.2					
	群集荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0					
		終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2			1.2					
	供用時	活荷重作用時	使用	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0					
		終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2					
	橋圧力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0		
終局		0.9	0.9			0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0		1.0	
地震力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0			1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0			1.2									
積載荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2									
群集荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0			1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2			1.2						
活荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2	1.2	1.2	1.2						
橋圧力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0			
	終局	0.9	0.9			0.9	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0		1.0	
地震力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0			1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0			1.2									
積載荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2									
群集荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0			1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2			1.2						
活荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2	1.2	1.2	1.2						
橋圧力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0			
	終局	0.9	0.9			0.9	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0		1.0	
地震力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0			1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0			1.2									
積載荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2									
群集荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0			1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2			1.2						
活荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2	1.2	1.2	1.2						
橋圧力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0			
	終局	0.9	0.9			0.9	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			1.0		1.0	
地震力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0			1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0			1.2									
積載荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2									
群集荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0			1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2			1.2						
活荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0						
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0		1.0	1.2	1.2	1.2	1.2						
防衝工反力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0							1.0					
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0							1.2					
防衝工反力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0							1.0					
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0							1.0					
橋圧力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0									1.0			
	終局	0.9	0.9			0.9	1.0	1.0									1.0			
地震力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0			1.0									
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0			1.2									
風荷重作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0												
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0												
牽引力作用時	使用	1.0	1.0			1.0	1.0	1.0								1.0				
	終局	1.1	1.1			1.1	1.0	1.0								1.0				

表-2.4 作用の組合せ例と標準的な荷重係数 (PC栈橋技術マニュアル, (財) 沿岸技術センター)

構造状態	設計状態		照査項目	標準的な限界値の種類	照査部材	永久作用					変動作用								
	主たる作用	二次たる作用				プレキャストPC桁自重	間詰めコックリート自重	建造部ト部工自重	橋面自重	コックリートの沈下及びシワ	アライメント力	組立の影響	機械的自重	群集荷重	防風口圧力	船舶牽引力	揚子力	L1地震動	
使用状態	船舶の浮力 <sup>(注2)</sup>	自重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0											
		載荷重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
	船舶の牽引 <sup>(注2)</sup>	自重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
		載荷重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
	L1地震動	自重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
		載荷重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
	載荷重(荷役作機及び橋組に伴う牽引を含む)	自重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
		載荷重	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.1 (0.9) <sup>(注3)</sup>	1.0												
	揚子力(渡船渡渡)	自重	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0												
		載荷重	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0												
	船舶の浮力 <sup>(注2)</sup>	自重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0												
		載荷重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0												
船舶の牽引 <sup>(注2)</sup>	自重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													
	載荷重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													
群集荷重	自重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													
	載荷重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													
活荷重(荷役作業時)	自重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													
	載荷重	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0													

※1) 表中の括弧内数値は、作用を小さく考える方が危険な場合に適用する。  
 ※2) プレキャストRC桁の配置方向に応じて、原案が必要な部材を決定する。  
 ※3) RC部材(連結構部、受梁)の使用限界状態の検討において、変動作用に対する荷重係数は過去の実績から0.5とした。また、RC部材の使用限界状態の検討は引ひびき割れ幅とコンクリートの圧縮応力度に対して行うものとする。

#### (4) プレストレスの程度

PC栈橋に適用するプレストレスの程度，つまりフルプレストレスとパーシャルプレストレスの適用について年代により基準類等の記載が異なる．以下に，港湾基準における記載内容の変遷を示す．

昭和54年の港湾基準では，プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会）<sup>12)</sup>により検討を行うことと記載があり，この設計施工指針には，フルプレストレスとパーシャルプレストレスの用語が定義され，それぞれの場合の許容応力度による設計の考え方が示されている．ただし，プレストレスの程度の選定に関する記載はない．

平成元年の港湾基準には，プレストレストコンクリート港湾構造物設計マニュアル（運輸省港湾局）<sup>13)</sup>によって行うことを原則とすること，また，平成11年の港湾基準には，同マニュアルに準じる，と記載されている．この港湾構造物設計マニュアルには，下記のひび割れ限界状態の設定について，構造物の種類，環境条件，かぶり，耐用年数に応じて責任技術者が判断することと記されている．

- a) 引張応力発生限界状態：コンクリート引張縁の応力度が0となる状態
- b) ひび割れ発生限界状態：コンクリート引張縁の応力度がコンクリートの引張強度の設計用値に等しくなる状態
- c) ひび割れ幅限界状態：鋼材応力度，またはひび割れ幅がそれぞれの制限値に等しくなる状態

なお，「たとえば，栈橋上部工において，自重に対して引張応力発生限界状態を，自重＋常時における積載荷重に対してひび割れ幅限界状態を対応させるという設計も可能である．」と，荷重条件によりひび割れ限界状態を対応させることについても言及されている．

平成19年および平成30年の港湾基準には，「プレストレストコンクリート」に関する具体的な記載はない．

次に，(財)沿岸技術センター発行図書に記載の変遷は次のとおりである．平成元年に発行されたPC栈橋の設計に関する技術資料には，変動荷重作用時に，耐久性或構造特性（鋼材かぶり，桁断面，プレテンション桁等）を考慮して，コンクリートに引張応力を発生させない引張応力発生限界状態を適用する，と記載されている．

平成15年のPC栈橋技術マニュアルには，変動荷重作用時の曲げ引張応力度の限界値は，一般には0もしくはコンクリートの引張強度とする，と記載されている．なお，同マニュアルに参考資料として掲載されている設計例では，変動荷重時の曲げ引張応力度の制限値は $0\text{N}/\text{mm}^2$ として紹介されている．

平成22年のPC栈橋技術マニュアルには，曲げ引張応力度の限界値は，永続状態では $0\text{N}/\text{mm}^2$ ，変動状態では曲げひび割れ強度の値とする，と記載されている．なお，同マニュアルに参考資料として掲載されている設計例では，変動荷重時の曲げ引張応力度の制限値は曲げひび割れ強度として紹介されている．

#### (5) 橋面工の防水処理

PC栈橋技術マニュアル（平成22年版）には，「舗装の施工前にプレキャストPC桁上面に防水工を施し，上面の水密性を向上させることにより，長期耐久性に配慮することが可能である．」と記載されている<sup>14)</sup>．

なお，PC栈橋技術マニュアル（平成15年版）にはこの記載はないことから，平成22年以前のPC栈橋には桁上面に防水層が施されていない可能性が高いと言える．

### 2.3.2 材料

#### (1) PCグラウト

プレテンション桁によるPC栈橋において，PCグラウトの施工箇所は横締めPC鋼材が対象となる．ここでは，PCグラウトの変遷のうち，シース内の空隙や塩分に関連する事項を表-2.5，2.6に示す．

大きな変更点は，平成8年に（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会（以下，PC建協）から発刊されているPCグラウト施工のマニュアル<sup>15)</sup>に，ノンブリーディング型を使用することが記載され，PC建協会員会社による平成9年4月以降の工事ではノンブリーディング型のみ使用可とされたことが挙げられる．また，従来はシース内の空隙の発生を防止するために膨張性を有するPCグラウトが使用されていたが，近年はシースの配置形状などに適した粘性のPCグラウトを使用することで対応されている．

ノンブリーディング型への移行経緯については，「2002年制定 コンクリート標準示方書 [ 施工編 ]」によると以下の内容となっている．『PCグラウトは，注入作業中には所要の流動性と充てん性を保ちながら，硬化後は緊張材およびシー

スとの間に十分な付着強度を発現して、水密性や緊張材を保護する性能が要求される。これまでPCグラウト用混和剤として、所要の流動性を得る目的で遅延型の減水剤が、またブリーディングを抑制し、かつ適度な膨張率を得る目的でアルミニウム微粉末が用いられてきた。アルミニウム微粉末は、水素ガスを発生してブリーディングの抑制と適度な膨張率を与える。この反応は化学反応であるため、基本的に温度、圧力、濃度に左右される。したがって、水素ガスの発生量およびその速度は、セメントの品質、環境や材料温度、配合、練混ぜ時間などにより影響を受けるので、混和量を定めることが重要である。また、夏季の施工などで温度が高くなる場合、水素ガス発生速度が著しく早くなるため、遅延形の混和剤の使用や、表面に特殊な処理を施して水素ガスの発生速度を調整したアルミニウム微粉末を使用する必要がある。』

このようにアルミニウム微粉末を使用するにあたっては様々な対応が必要になるが、材料の品質や施工環境などの変動が大きい現場では、アルミニウム微粉末により発生する水素ガスは分子の状態であり、水素脆性に影響は与えないと言われている。適度の流動性を付与する分散成分として高性能減水剤が、またブリーディングを抑制する成分として増粘剤が一般に利用されている。このような性能を持つPCグラウト用混和剤をノンブリーディングタイプと称しており、施工方法や施工条件により高粘性型および低粘性型、超低粘性といった異なるタイプが市販されている。

したがって、所要の流動性とブリーディング抑制効果が他の条件に左右されにくいPCグラウトとしてノンブリーディングタイプを使用することが標準とされている。なお、一般に増粘剤は、水に完全溶解するためには若干時間を要するので、十分な攪拌を行い均一化してから使用することが重要である。

表-2.5 PCグラウトの変遷（（財）沿岸技術研究センター）

発刊年	資料名称	PCグラウト材料の変遷			施工に関する記載の変遷
		膨張率	ブリーディング率	塩化物含有量	
H1年	PC栈橋の施工に関する技術資料	10%以下	3%以下	記載なし	注入前の水通し等の注意事項記載
H15年	PC栈橋技術マニュアル	0～10%以下	0%以下	0.3kg/m <sup>3</sup> 以下	PCグラウト&プレグラウトPC鋼材マニュアル H14年版(PC建協)を参考とする
H22年	PC栈橋技術マニュアル	記載なし			PCグラウト&プレグラウトPC鋼材マニュアル H18年版(PC建協)を参考とする

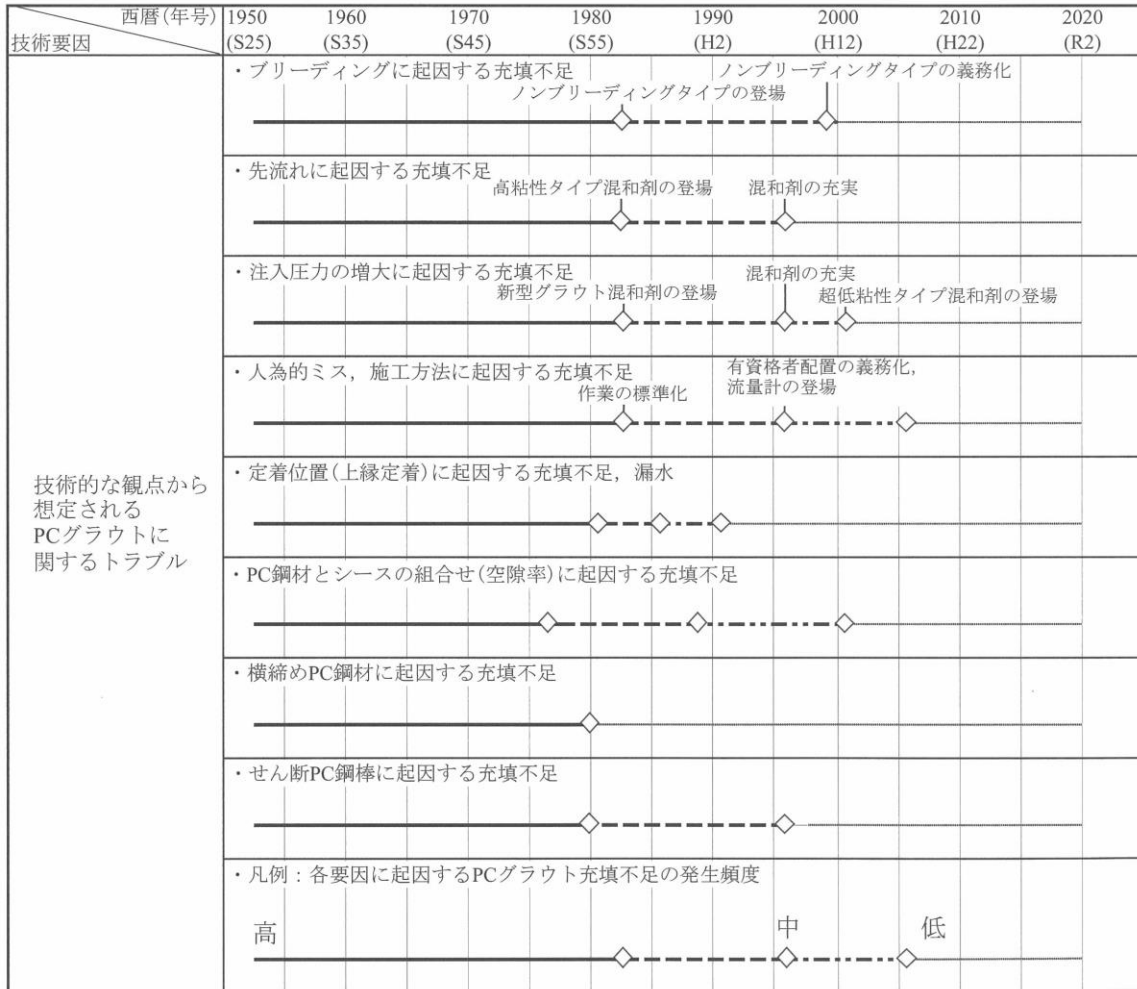
表-2.6 PCグラウトの変遷（PC建協）

発刊年	資料名称	PCグラウト材料の変遷		
		膨張率	ブリーディング率	塩化物含有量
H8年	PCグラウト施工のマニュアル	0～10%以下	3%以下 ※H8年コン示では3%許容のため、ノンブリーディング型を推奨するも、従来型を併記	0.3kg/m <sup>3</sup> 以下
H11年	PCグラウト&プレグラウトPC鋼材 施工マニュアル	-0.5～0.5% 膨張率は 5%以下	0%以下 ※H9.4以降、従来型の使用は認めていない	
H14年	PCグラウト&プレグラウトPC鋼材 施工マニュアル	膨張型は 0～10%以下 ※非膨張タイプは 試験省略	0%以下	
H18年	PCグラウト&プレグラウトPC鋼材 施工マニュアル	-0.5～0.5% ※現場試験項目 から除外		

上記に示したグラウト技術の変遷から、建設年代ごとにグラウトの充填不足に対するリスクが異なる。

「プレストレストコンクリート構造物補修の手引き [PCグラウト再注入工法], 令和2年4月, PC建協」<sup>16)</sup>に年代ごとの充填不足の発生リスクの変遷が図-2.12のように記載されており参考となる。

図-2.12 PCグラウト充填不足の発生リスク変遷



(2) コンクリート中の塩化物イオン濃度

工場製品および現場打ちで用いるコンクリートについて、港湾基準におけるコンクリート中の塩化物イオンに関する記載内容を表-2.7に示す。港湾基準において、平成元年6月以降は塩化物イオン濃度の規制値が明記されている。また、平成11年以降は海砂・海水の記載も変更されている。

表-2.7 コンクリート中の塩化物イオン濃度の制限値と海水および海砂に関する記載の変遷（港湾基準）

港湾基準	コンクリート中の初期塩化物イオン濃度	海水に関する記載	海砂に関する記載
S54年	記載なし	無筋コンクリートに限り使用可	鉄筋コンクリートには海砂の使用はできるだけ避けることがのぞましい
H11年	0.30kg/m <sup>3</sup>		
H11年		「海水」の文言が消滅 上水道水またはJSCE-B 101に適合したものを 用いる	「海砂」の文言が消滅 JIS A 5308を満足するものを標準とする
H19年			
H30年			



### (3) ASR抑制対策

港湾基準におけるASR対策に関する記載内容を表-2.8に示す。港湾基準では、平成元年6月からASR対策が明記されている。

(参考)・昭和50年代：国内においてASR劣化が顕在化

- ・昭和61年：建設省「アルカリ骨材反応暫定対策について」、「コンクリート中の塩化物総量規制及びアルカリ骨材反応暫定対策について（港技第129号，港災第1196号 昭和61年10月8日付け）」、「コンクリート中の塩化物総量規制及びアルカリ骨材反応暫定対策について（空建第92号 昭和61年7月14日付け）」，平成15年 国交省「アルカリ骨材反応暫定対策」など。

表-2.8 コンクリート中のアルカリ総量規制値に関する記載の変遷（港湾基準）

港湾基準	アルカリ総量規制値 (Na <sub>2</sub> O換算値)	骨材判定
S54年	記載なし	記載なし
H1年	3.0kg/m <sup>3</sup>	JIS A 5308附属書の化学法またはモルタルバー法とするが，ASTM C289, C227でも可
H11年		JIS A 1145(化学法)またはJIS A 1146(モルタルバー法)
H19年		
H30年		

### (4) PC鋼材

PC鋼材の規格は、設計もしくは施工当時のJIS規格に準じている。PC鋼材の規格の変遷について、「PC構造物の維持保全，平成27年3月，PC建協」<sup>17)</sup>や「保全技術者のための橋梁技術の変遷，平成11年7月，(財)道路保全技術センター」<sup>18)</sup>に詳細に記載されており参考となる。

#### 参考文献

- 1) (公社)プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造診断技術，PC工学会，p.31，2021年1月
- 2) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き，p.7，令和2年4月
- 3) (公社)プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造診断技術，PC工学会，p.31，2021年1月
- 4) (公社)プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造診断技術
- 5) (公社)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術
- 6) 令和元年15号台風による船舶の衝突被害を受けた横浜港南本牧はま道路の復旧までの軌跡，橋梁と基礎，p.24-30，令和3年6月
- 7) (財)沿岸開発技術研究センター：PC栈橋の設計・施工法調査報告書（概要編），p.26，平成元年4月
- 8) (財)沿岸技術研究センター：PC栈橋技術マニュアル（2010年版），参考資料3，p.3，平成22年9月
- 9) (財)沿岸開発技術研究センター：PC栈橋の設計・施工法調査報告書（概要編），附属資料 PC栈橋の基本設計例，p.8，平成元年4月
- 10) (財)沿岸開発技術研究センター：PC栈橋技術マニュアル，参考資料，p.197，平成15年10月
- 11) (財)沿岸開発技術研究センター：PC栈橋の設計に関する技術資料，pp.51-52，平成元年4月
- 12) (社)土木学会：昭和36年土木学会制定 プレストレストコンクリート設計施工指針，p.3およびpp.83-84，昭和36年8月
- 13) 運輸省港湾局：プレストレストコンクリート港湾構造物設計マニュアル，pp.14-15，昭和62年3月
- 14) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PCグラウト施工のマニュアル，平成8年
- 15) (財)沿岸開発技術研究センター：PC栈橋技術マニュアル（2010年版），pp.3-34，平成22年9月
- 16) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き〔PCグラウト再注入工法〕，p.25，令和2年4月
- 17) (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC構造物の維持保全，p.31，平成27年3月
- 18) (財)道路保全技術センター：保全技術者のための橋梁技術の変遷，pp.96-99，平成11年7月

参考資料：PC栈橋の設計・施工関連基準の一覧

港湾の施設の技術上の 基準・同解説 （（公） 日本港湾協会）	プレストレスト コンクリート 港湾構造物設計 マニュアル （運輸省港湾局）	PC栈橋の設計・施工法 調査報告書（概要編） （（一財） 沿岸技術研究センター）	PC栈橋の設計に関する 技術資料 （（一財） 沿岸技術研究センター）	PC栈橋の施工に関する技術 資料 （（一財） 沿岸技術研究センター）	PC栈橋技術マニュアル （（一財） 沿岸技術研究センター）
<p>昭和54年3月</p>	<p>昭和62年3月</p>				
<p>平成元年6月</p>		<p>平成元年4月</p>	<p>平成元年4月</p>	<p>平成元年4月</p>	
<p>平成11年4月</p>					
<p>平成19年7月</p>					<p>平成15年10月</p>
<p>平成30年5月</p>					<p>平成22年9月</p>

### 3. PC橋橋上部工の外観目視調査における着目点

#### 3.1 一般

日常点検や一般定期点検診断は、目視調査により行われる。目視調査は構造物の状態を把握するための基本となり、重要な調査方法である。

目視調査では、構造物表面に現れた変状を把握でき、継続的に調査を行うことで変状の進行状況の把握も可能となる。

可能な範囲でくまなく調査することが必要であるが、効率的に行うためには、ポイントの絞り込みが大切である。的確な判断をするためには、どのような部位にどのような変状が発生するかを事前を知ることが有効であると考え、ここでは、点検事例が比較的多く蓄積されつつある橋梁の点検事例をもとに目視調査する上での着目点を整理した。

PC橋橋上部工は予防保全的な対策を講じることによって、力学的性能をできるだけ低下させないようにすることがきわめて重要である。

点検は主に外観状況を目視により観察する方法で行われるが、劣化の前兆を「変状」として捉えるためには、次に示すような観察手法がある。

- 1) 劣化の予兆に着目した外観目視調査
- 2) 水の浸入経路に着目した外観目視調査
- 3) 部位に着目した外観目視調査

橋橋下面は潮位などの関係により船舶が進入できない等、直接目視点検がしにくい場所であるが、海面に近く劣化が進行しやすい場所であるため、特に重要な点検箇所である。

#### 3.2 劣化の予兆に着目した外観目視調査

劣化の予兆を捉えることを目的とした外観目視調査の着目点を表-3.1に示す。特に予防保全を前提とする場合、構造物の変状に大きく関与する水の存在に注意し、エフロレッセンスや漏水、滞水、水しみなどに着目することが重要である。

表-3.1 劣化の予兆を捉えるための外観目視調査の着目点<sup>1)</sup>

変 状		着目点
PC 鋼材 の腐食・ 破断に関 するもの	ひび割れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート表面にひび割れが生じてないか。</li> <li>・PC 鋼材定着部やPC 鋼材に沿ったひび割れが生じてないか。</li> <li>・曲げひび割れやせん断ひび割れが生じていないか。</li> </ul>
	浮き、剥離、剥落、鉄筋露出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート表面の浮き、剥離、剥落等がないか。</li> <li>・PC 鋼材定着部後埋め部に浮き、剥離がないか。</li> </ul>
	エフロレッセンス、錆汁、漏水、滞水、変色、水しみ、汚れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・打継目やひび割れから、エフロレッセンスや漏水が生じていないか。</li> <li>・PC 鋼材が配置されている部位に水しみがないか。</li> </ul>
コンクリ ートの耐 久性に関 するもの	コンクリート表面の劣化等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・凍害や化学的侵食によると考えられる骨材の露出やはく離がないか。</li> <li>・アルカリシリカ反応によると考えられるひび割れ、変色、アルカリシリカゲルの析出がないか。</li> </ul>
	初期欠陥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・細径の PC 鋼材が多数配置されているプレテンション方式の PC 桁下面に豆板（ジャンカ）、空洞がないか。</li> </ul>
PC 部材 の性能・ 機能に関 するもの	異常な音・振動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両走行時の異常なたたき音やきしみ音、あるいは、不均一な振動がないか。</li> </ul>
	異常なたわみ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主桁のたれ下がりや、せり上がりがないか。</li> </ul>
	遊間の異常	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遊間が広すぎたり、狭すぎたりしないか。伸縮装置に異常はないか。</li> </ul>
	下部工の沈下・移動・傾斜	<ul style="list-style-type: none"> <li>・橋体に異常な傾きや沈下がないか。</li> <li>・杭に回転や移動がないか。</li> </ul>

### 3.3 水の浸入経路に着目した外観目視調査

エフロレッセンスや漏水、滞水、水しみなど、水が関与する変状を捉えるためには、図-3.1 および図-3.2 のように水の浸入口や浸入経路に着目した調査を行うとよい。

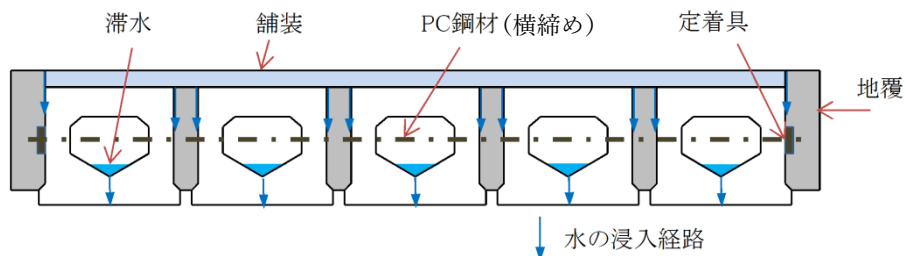


図-3.1 水の浸入経路に着目した外観目視調査の例（ホロー桁）<sup>1)</sup>に一部追記

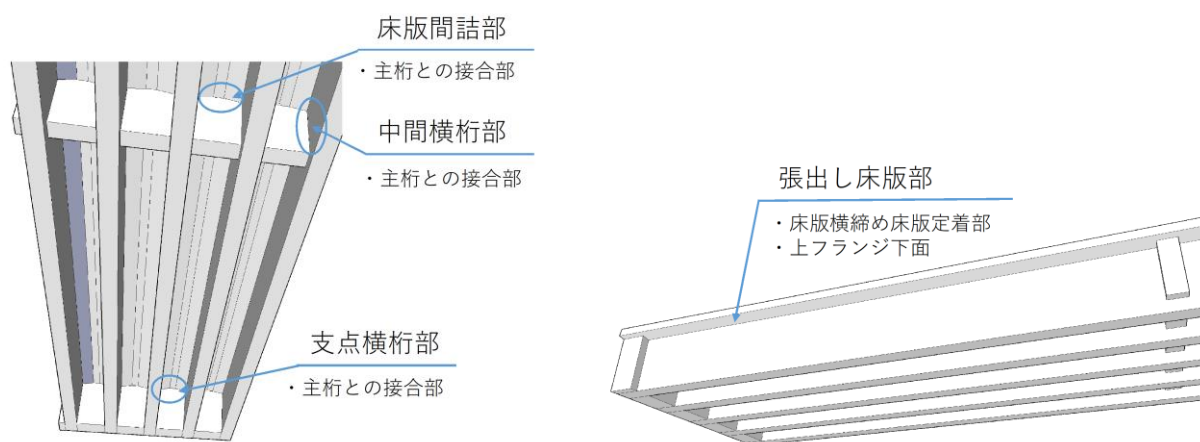


図-3.2 水の浸入経路に着目した外観目視調査の例（T桁）

- ・間詰め部

PC 栈橋上部工の上面に滞水した水が主桁と間詰めコンクリートの界面から浸入し、PC 栈橋上部工下面の間詰め部から漏水・エフロレッセンスや錆汁となって滲出していないかを調査する。

- ・主桁下面

ホロー桁において、主桁の製作時におけるコンクリート中の水分や橋面からの漏水により中空断面内に帯水した水が主桁の下面に生じたひび割れからエフロレッセンスや錆汁を伴う水しみとなって滲出していないかを調査する。

- ・支点横桁部および中間横桁部（T桁）

T 桁において、主桁と場所打ち工法で製作される支点横桁および中間横桁の接合部では、漏水、エフロレッセンスや錆汁を伴う水しみとなって滲出していないかを調査する。

- ・横締め PC 鋼材の定着部付近の地覆コンクリート

PC 栈橋上部工の上面からの雨水が、主桁と地覆コンクリートの界面から浸入し、横締め PC 鋼材の定着部付近の地覆コンクリートに生じたひび割れから錆汁を伴う水しみとなって滲出していないかを調査する（図-3.3 参照）。

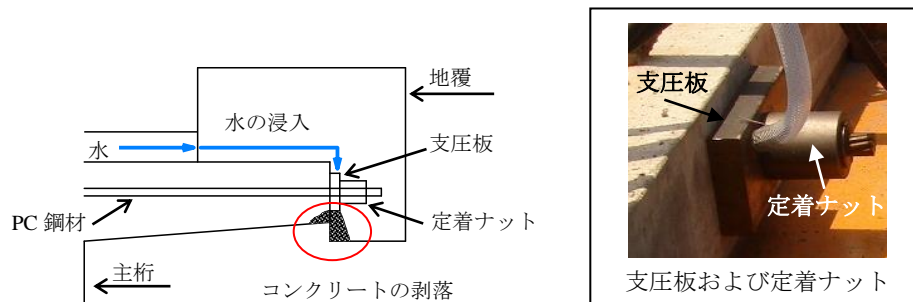


図-3.3 橋面地覆からの水の浸入例 (T桁)

### 3.4 部位に着目した外観目視調査

変状や水の浸入経路に加えて、表-3.2 および図-3.4 に示すように、PC 栈橋の各部位に生じやすい損傷に着目した外観目視調査を実施する。

表-3.2 部位に着目した目視調査例<sup>1)</sup>

部 位	着目点
① 端支点部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支承反力，地震や温度変化による水平力等により損傷を受けやすい。</li> <li>・ PC 桁と受梁との隙間が狭いため飛来塩分が溜まりやすいので，塩害による劣化が生じやすい。</li> </ul>
② 中間支点部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支承反力，地震や温度変化による水平力等により損傷を受けやすい。</li> <li>・ PC 桁と受梁との隙間が狭いため飛来塩分が溜まりやすいので，塩害による劣化が生じやすい。</li> <li>・ 負の曲げモーメントおよびせん断力が最大となり，かつ地震力や揚圧力を受けて正負交番の応力状態となる部分であり，ひび割れが発生しやすい。</li> <li>・ とくに，RC 構造である PC 桁の連結部に着目する。</li> </ul>
③ 支間中央部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲げモーメントが最大となる部分であり，曲げひび割れが発生しやすい。</li> </ul>
④ 断面変化部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 桁高変化による断面急変部は，応力集中によるひび割れが生じやすい。</li> </ul>

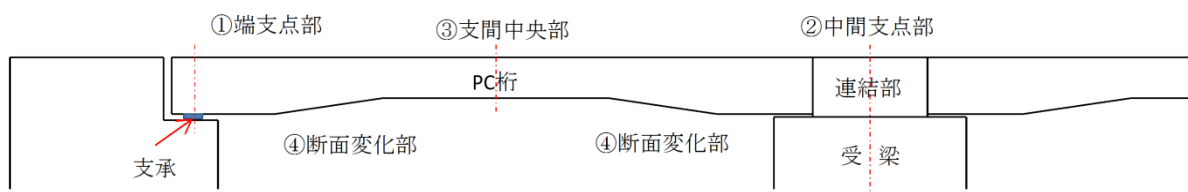


図-3.4 部位に着目した調査位置の例<sup>1)</sup>

#### 参考文献

1) 一般財団法人沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，p.116-117，平成30年7月

## 4. 要因ごとの調査方法

### 4.1 要因ごとの調査方法の概要

ここでは、調査の種類を必須調査・要因推定調査・性能評価調査の3つに分類し、各調査で実施する項目を整理した。そして、本手引き（案）で提案する「調査方法の選定シート（案）」（表-4.8～表-4.13）の使い方を紹介するとともに、構造解析による性能評価にあたっての、劣化状況を構造解析に反映させる留意点や、劣化評価の流れをまとめた。

### 4.2 調査の種類と調査項目

PC栈橋上部工が劣化する要因には、2.2節で記したように、環境的要因による塩害・材料的要因によるアルカリシリカ反応（ASR）・施工的要因による初期欠陥などがあるが、なぜ劣化したのかの要因を推定するための調査項目と調査手法（以下、劣化要因推定調査）を整理すると、表-4.1のとおりである。また、性能や機能を評価するためには、劣化によってPC栈橋上部工がどのようになっているかを把握することが必要で、現状を把握するための調査（以下、性能・機能評価調査）には、構造物にダメージを与えない非破壊調査と、構造物の一部を採取等してサンプリングした試料を検査する微破壊調査がある。鉄筋やPC鋼材の腐食や破断の有無は非破壊調査でもある程度の推定は可能であるが、腐食の程度や破断の状況については微破壊検査で直接目視確認するのがよい。なお、ドリル削孔等で鉄筋やPC鋼材を傷めないように予め非破壊検査でそれらの位置を確認しておく必要がある。

表-4.1 調査の種類と調査項目

調査の種類		調査項目	調査手法	調査項目
				本書
必須調査		防水層の有無 変状全般 浮き	設計図書の確認	4.4(1)
			外観目視調査	4.4(2)
			打音調査	4.4(3)
劣化要因 推定調査	塩害	塩化物イオン濃度	ドリル削孔＋電位差滴定法	4.5(1)
	ASR	ひび割れ状況	外観目視調査	—
		ゲルの析出	光学・電子顕微鏡	4.5(2)
		残存膨張量	コア抜き＋促進膨張試験	4.5(3)
	圧縮強度、静弾性係数	コア抜き＋材料試験	4.5(4)	
初期欠陥	ひび割れ状況 浮き 内部空洞 PC グラウトの充填程度	外観目視調査	—	
		打音調査	—	
		サーモグラフィ法	4.5(5)	
		ドリル削孔＋CCD カメラ	4.5(6)	
衝撃弾性波法	4.5(7)			
上載荷重	車両荷重	コンテナ重量調査	—	
性能・機能 評価調査	非破壊	鉄筋・PC 鋼材の配置	電磁波レーダ、電磁誘導	4.6(1), —
		鉄筋・PC 鋼材の腐食	自然電位法、分極抵抗法	4.6(2)(3)
		PC 鋼材の破断	漏洩磁束法、X 線透過法	4.6(4)(5)
		たわみ	計測・測量	4.6(6)
	微破壊	鉄筋・PC 鋼材の腐食	表面切削＋目視	4.6(7)
		残存プレストレス量	コア応力解放法	4.6(8)
		断面欠損	外観目視調査	—

### 4.3 調査方法の選定シート（案）

#### (1) 変状パターンと劣化要因

PC栈橋上部工コンクリートの下面の変状としてはひび割れが代表的で、ひび割れが部材軸方向に生じている（部材軸線に平行な）パターンと部材軸直角方向に生じている（部材を輪切りにするような）パターンがある。

部材軸方向ひび割れは、部材の膨張に起因することが多く、部材軸直角方向ひび割れは、部材の収縮に起因することが多い。前者の要因にはASRや軸方向鋼材の腐食による膨張などがあり、後者の要因には乾燥収縮や軸直角方向鋼材膨張、曲げモーメントに対する耐荷力不足などがある。このように、ひび割れの方角によって、ある程度要因を推定することが可能で、部材軸方向ひび割れの場合は、塩害・ASR・初期欠陥を念頭に調査手法を選定するのがよく、部材軸直角方向ひび割れが全面的に発生している場合は、塩害である可能性が高い。部材軸直角方向ひび割れが支間中央付近に集中して発生している場

合は、構造的な要因であることが多く、抵抗側の要因としては何らかの理由でプレストレス力が低下している可能性、作用側の要因としては設計で想定した以上の荷重が載った可能性がある。

なお、プレストレスで圧縮応力が十分に導入されている場合には、乾燥収縮が進行しても部材軸直角方向ひび割れではなく、プレストレスが導入されていない鉛直方向の引張に対して部材軸方向ひび割れが発生することがある。このように、構造物の応力状態等によってもひび割れの状況が変わるので、慎重に検証する必要がある。

## (2) 調査項目と優先度

PC 栈橋上部工の主な劣化要因である塩害・ASR・初期欠陥において、その劣化要因を推定するための調査方法が異なる。また、表-5.1 で示した性能判断の区分によっても調査の優先度は異なる。PC 栈橋上部工での劣化度 a 判定における性能判断の区分別（性能区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）の調査方法を、表-4.8 から表-4.13 に示す選定シート(案)としてとりまとめた。構造部位や変状タイプごとに分けており、表-4.2 のとおりである。

選定シート(案)では、推定される劣化要因に対してどのような調査をするのが効率的であるか、性能・機能評価をおこなううえで、どのような非破壊試験あるいは微破壊試験を選定するのが適当であるかを性能判断の区分ごとに一覧にして、それぞれのパターンにおいて適している調査手法を列挙するとともに、表-4.3 に示すように、実施が必須であるか（記号は◎）、場合によっては実施するのがよい（記号は△）など、調査項目の優先度を記している。

表-4.2 構造部位や変状の特徴ごとの選定シート(案)

構造部位		変状タイプ	参照する選定シート(案)
ホロー桁	主桁本体	部材軸方向のひび割れ	表-4.8
		部材軸直角方向のひび割れ	
		曲げひび割れ	表-4.9
	間詰め部	間詰め部の漏水	表-4.10
T桁	主桁本体	部材軸方向のひび割れ	表-4.11
		部材軸直角方向のひび割れ	
		曲げひび割れ	表-4.12
	間詰め部	間詰め床版部の漏水	表-4.13

表-4.3 調査項目の優先度

記号	優先度	注釈
◎	実施が必須	基本的に、必ず実施することが望ましい調査項目
○	実施を推奨	技術・費用面等に問題がなければ、実施が望ましい調査項目
△	場合により実施	詳細・正確な状況を確認したい等の場合に実施する調査項目

#### 4.4 必須調査

##### (1) 既往資料（設計図書など）の確認

設計図書、施工関連図書、維持関連図書などを入手して、表-4.4のような項目を調査する。

表-4.4 設計図書等での確認項目

	確認項目	摘要
設計図書	・設計基準および設計年月日	基準およびどの年代の基準を使用しているか等
	・設計条件や構造緒元	耐用年数や外力条件や荷重条件等
	・材料の規格	PC鋼材の規格やコンクリートの配合等
	・現地・施工条件	現場打設なのか工場製作なのか、施工方法等
	・設計計算書	劣化後の耐力が作用以上かの確認、補修検討には必要
	・その他	
施工関連図書	・施工年月日	
	・実際の施工方法	施工計画書や工事写真など
	・出来形寸法	
	・品質管理項目	実際の配合表や鉄材関連のミルシート等
	・その他	
維持関連図書	・維持管理計画書	
	・点検調査記録	
	・補修記録	

設計や施工の時期から適用基準が明確になると、2.3節に記載した関連基準の変遷により、劣化を抑制する対策が講じられているか否かを確認することができる。劣化を抑制する対策が規定された時期を表-4.5に示すが、基準化されて以降は、劣化が起こる危険性が低くなったと考えられる。

表-4.5 基準の変遷による劣化の抑制

劣化要因	西暦（年）						劣化を抑制する対策
	～1985	1986	1989	1991	1996	1999～	
塩害							生コンの塩化物量
ASR							生コンのアルカリ総量
初期欠陥							ホロー桁の内枠下面勾配
							グラウトの塩化物量
							グラウトのブリージング率
備考：着色部は、劣化を抑制する対策が実施されている時期							

##### (2) 外観目視調査

コンクリート部材の劣化は、ひび割れや錆汁などのように多くは躯体表面に顕在化するため、調査項目を絞り込むためにも外観目視調査は重要であり、3章の着目点に注意して調査することが肝要である。

PC 栈橋上部工は基本的に上面を舗装しているので、写真-4.1のような船外機船などに乗り込んで栈橋の下側から見上げる調査となるが、潮位差の小さい場所や前垂れの下端が水中に没するような栈橋では、栈橋下面に水面上からアクセスできない場合もある。そのような場合は潜水士による調査が必要となるが、最近では、写真-4.2のような ROV (Remotely operated vehicle ; 遠隔操作型の無人機) などによって点検するシステムも開発・実用化されている。





写真-4.1 船外機船での検査

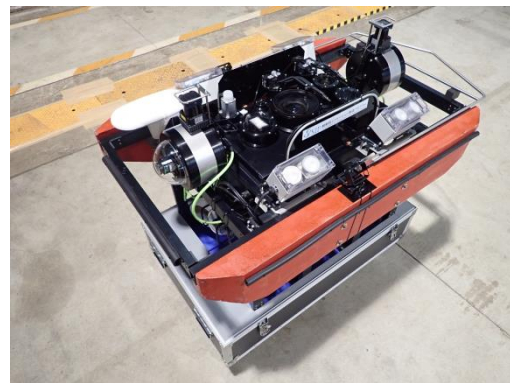


写真-4.2 栈橋上部工点検用 ROV

### (3) 打音調査

コンクリート表面をハンマーで軽くたたき、あるいは打診棒を転がすように滑らせるだけの検査であるが、表面近くの浮きを音の変化で検知できる比較的簡易な検査方法である。浮きが疑われる領域は、チョーク等でマーキングして、劣化損傷図に書き込んだり写真撮影して記録に残す。

## 4.5 劣化要因推定調査

劣化要因推定調査について、簡単な概要とPC栈橋上部工の場合に特に注意すべき事項を以降に示す。なお、日本産業規格 (JIS)、土木学会規準 (JSCE)、日本非破壊検査協会規格 (NDIS)、日本コンクリート工学会規準 (JCI) に表-4.6に示すような関連規準があるので、参考にするといよい。

表-4.6 劣化要因推定調査の関連規準

調査の種類		本書	調査手法	関連規準			
劣化要因 推定調査	塩害	4.5(1)	ドリル削孔+電位差滴定法	JIS A 1154	硬化コンクリート中に含まれる塩		
				JSCE-G573	化物イオンの試験方法		
	ASR	4.5(2)	光学・電子顕微鏡				
				4.5(3)	コア抜き+促進膨張試験	JCI-S-011	コンクリート構造物のコア試料による膨張率の測定方法
						4.5(4)	コア抜き+材料試験
	初期欠陥	4.5(5)	サーモグラフィ法	NDIS 3428	赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の変状評価のための試験方法		
				4.5(6)	ドリル削孔+CCDカメラ		
4.5(7)						衝撃弾性波法	NDIS 2426-2

### (1) ドリル削孔+電位差滴定法 (塩害)

PC栈橋上部工の躯体からコンクリート試料を採取して、塩化物イオン濃度を分析する調査手法である。

試料の採取方法としては、コア法やドリル法がある。プレテンション方式のホロー桁の場合、桁下面部から採取することになるが、桁下面の全長にわたってPC鋼材が配置されており、PC鋼材間のあきは狭い箇所では40mm以下なので、φ100のコアだとPC鋼材を切断してしまう。そのため、PC鋼材とPC鋼材の間をφ20mm程度の小径コアやドリルで採取するのがよい。

### (2) 光学・電子顕微鏡 (ASR)

構造物から採取したコアから薄片試料を作成し、走査型電子顕微鏡等で、アルカリシリカ反応の生成物であるゲルの存在を観察する調査手法である。

### (3) コア抜き+促進膨張試験 (ASR)

直径50mmから75mm程度のコアを採取し、促進養生条件下でコアの膨張量を測定する調査手法である。

コアの採取については、RC構造の壁体側面であれば小径のコアを抜いても構造的に問題になることはないと考えられるが、プレテンション桁については、PC鋼材が配置されていない箇所を選定する。

### (4) コア抜き+材料試験 (ASR)

コアを採取し、圧縮試験機で加圧して圧縮強度を確認するとともに、ひずみを測定してヤング係数を推定する調査手法である。

### (5) サーモグラフィ法 (初期欠陥)

赤外線映像装置を用いてコンクリート表面の温度分布を測定し、温度が異なっている箇所を内部欠損が存在すると推定する調査手法である。初期欠陥だけでなく、塩害による浮き・剥離も場合によっては可能である。

PC 栈橋上部工下面は、直射日光が照射せず温度変化が小さい環境なので、検知できないことで内部が健全であるという誤判断を生む危険性があることに注意する。

### (6) ドリル削孔+CCDカメラ (初期欠陥)

シース内の横締めPC鋼材は、グラウトで防錆されている。グラウトが十分に充填されていることの確認は、横桁の側面や下面から横締めシースを目がけてドリルで削孔し、通気法やCCDカメラ (ファイバースコープ) による目視で、充填状況を確認することができる。

ドリル削孔する箇所は、ひび割れや錆汁の状況を判断して、内部のPC鋼材が腐食している疑いが大きい箇所を選定することになるが、削孔後の修復跡から劣化因子 (塩化物イオン、水、酸素など) が侵入しないよう、補修方法についても計画しておく必要がある。

### (7) 衝撃弾性波法 (初期欠陥)

横締め PC 鋼材の定着具を露出して、あるいは定着部付近のコンクリート表面をハンマー等で打撃して、PC 鋼材を伝わる弾性波の伝播速度によってグラウトの充填性を推定できる。

## 4.6 性能・機能評価調査

性能・機能評価調査について、簡単な概要とPC栈橋上部工の場合に特に注意すべき事項を以降に示す。なお、日本産業規格 (JIS)、土木学会規準 (JSCE)、日本非破壊検査協会規格 (NDIS) に表-4.7に示すような関連規準があるので、参考にするとよい。

表-4.7 性能・機能評価調査の関連規準

調査の種類	本書	調査手法	関連規準
性能・機能 評価調査	非破壊	4.6(1) 電磁波レーダ法	NDIS 3429 電磁波レーダ法によるコンクリート構造物中の鉄筋探索方法
		4.6(2) 自然電位法	JSCE-E601 コンクリート構造物における自然電位測定方法(案)
		4.6(3) 分極抵抗法	
		4.6(4) 漏洩磁束法	JIS Z 2319 漏えい(洩)磁束探傷試験方法
		4.6(5) X線透過法	
		4.6(6) 計測・測量	
	微破壊	4.6(7) 表面切削+目視	
		4.6(8) コア応力解放法	

#### (1) 電磁波レーダ法 (非破壊)

送信アンテナから放射した電磁波が鉄筋等に反射して受信アンテナに戻ってくるまでの往復の伝搬時間で、反射体までの距離が計算できる。

#### (2) 自然電位法 (非破壊)

鉄イオンと水酸化物イオンが反応すると鉄の水酸化物が生成し、これが錆となるが、鉄筋が腐食しているときは電子が鉄

筋内を移動する。この電荷を検出する方法が自然電位法である。

(3) 分極抵抗法（非破壊）

自然電位法と類似しているが、コンクリート表面に当てた外部電極から内部鉄筋に微弱な電流または電位差を付加して分極抵抗を求め、それと反比例関係にある腐食速度を推定する方法である。

(4) 漏洩磁束法（非破壊）

PC鋼材が強磁性体であることを利用して、コンクリート表面からPC鋼材を磁化させて、漏洩した磁束を検知することでPC鋼材が破断しているかを推定する方法である。

(5) X線透過法（非破壊）

X線透過法は、一方からX線を照射して裏面側に配置したフィルムに感光させて内部の鉄筋やPC鋼材などを撮影する方法で、内部の様子を実際の状態に可視化が可能である。

X線の出力や照射時間を変えることで、ある程度のコンクリート厚まで撮影が可能であるが、調査対象のPC栈橋上部工に対して、X線発生装置の持込みやフィルムの設置等が可能かを入念に計画して適用の可否について検討する必要がある。

(6) 桁のたわみ計測（非破壊）

PC栈橋上部工の上面に重量物を搭載し、下面のたわみ量を計測することで、部材の弾性係数を推定することができる。

(7) 内部鋼材腐食の目視調査（微破壊）

躯体のかぶりコンクリートをはつり除去して鉄筋・PC鋼材を露出し、それら内部鋼材の腐食状況を観察する調査手法である。

はつり出しではコンクリートを除去する領域が大きくなってしまうため、PC鋼材の状況だけを調査するのであれば、PC鋼材まで到達しない程度にドリルやコアで鉄筋間を削孔し、PC鋼材を傷めないよう慎重にチップングしてPC鋼材を露出させ、腐食の状況・減肉の程度・破断の有無を直接目視する方法もある。

(8) コア応力解放法（微破壊）

コア応力解放法は、**図-4.1**に示す概要のとおり、まずコンクリート表面にひずみゲージを貼り付けてひずみを計測し、その後、**写真-4.3**のようにひずみゲージまわりをコア切削する。コア切削によって、コア切削内の表面のひずみが解放されて無応力状態になり、そのときのひずみを再度計測して、ひずみの変化分から当初の応力状態を推定する方法である。

切削溝が浅いと表面ひずみが完全に解放されないが、深く切削すると内部の鉄筋やPC鋼材を傷つけることがあるので注意する必要があるが、φ50mmのコア径で18mm切り込むことで精度よく推定できたという報告がある。

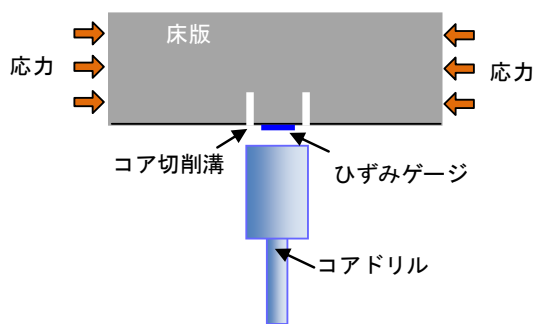


図-4.1 コア応力解放法の概要


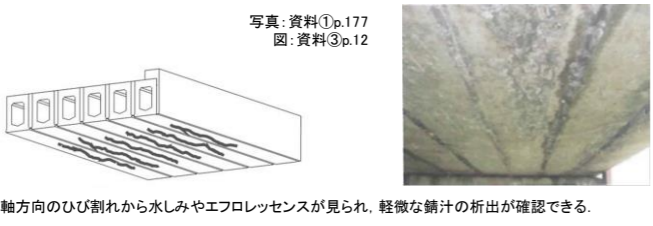
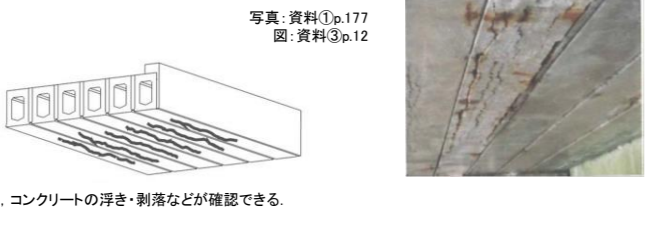
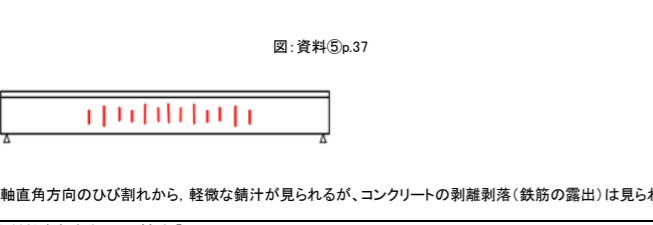
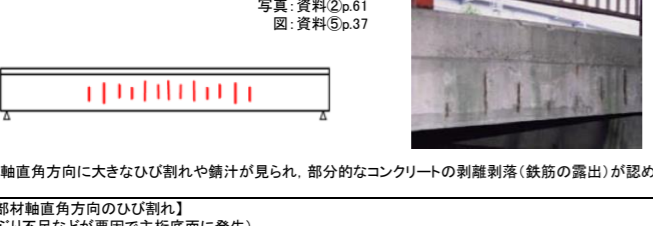
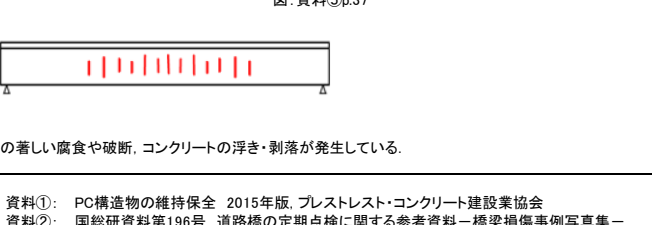


写真-4.3 コア削孔状況

参考文献

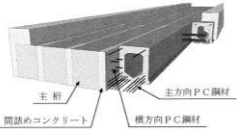
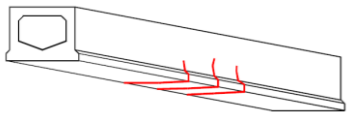
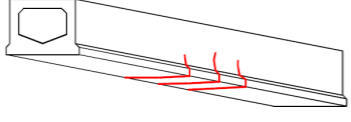
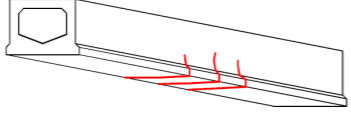
1) 二井谷教治, 渡瀬博, 肥田研一「残存プレストレスの調査手法」, (公社)日本コンクリート工学会, コンクリート工学 Vol.53, No.8, 2015年8月, pp.690-697

表-4.8 PC橋橋上部工での劣化度 a 判定における性能判定の区分別（区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）の調査方法 選定シート（案）

代表的な桁パターン [ホロー桁：主桁本体]	変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ) 損傷レベル(低、中、高)	劣化要因・ 主な要因	必須調査(変状の把握)			劣化原因の推定				性能・機能評価				耐力評価		
				外観目視・打音調査、 水の浸入、使用状況調査	塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査								
<p>写真：資料①p.177 図：資料③p.12</p>  <p>・部材軸方向のひび割れから、水しみやエフロレッセンスが見られるが錆は見られない。</p>	<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるもの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下してないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・塩害 ・ASR ・初期欠陥</p>	◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>		
			◎打音調査	◎防水層の有無	◎設計図書の確認	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無		△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無
			◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視		△耐力評価 △載荷試験	
<p>写真：資料①p.177 図：資料③p.12</p>  <p>・部材軸方向のひび割れから水しみやエフロレッセンスが見られ、軽微な錆の析出が確認できる。</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下してないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念されるもの。</p>	<p>・塩害 ・ASR ・初期欠陥</p>	◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>		
			◎打音調査	◎防水層の有無	◎設計図書の確認	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無		△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無
			◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視		△耐力評価 △載荷試験 一供用停止	
<p>写真：資料①p.177 図：資料③p.12</p>  <p>・錆、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>	<p>区分Ⅳ (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>・塩害 ・ASR ・初期欠陥</p>	◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視	<p>△耐力評価 △載荷試験 一供用停止</p>		
			◎打音調査	◎防水層の有無	◎設計図書の確認	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無		△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無
			◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視		△耐力評価 △載荷試験 一供用停止	
<p>図：資料⑤p.37</p>  <p>・部材軸直角方向のひび割れから、軽微な錆が見られるが、コンクリートの剝離剥落(鉄筋の露出)は見られない。</p>	<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるもの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下してないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>		
			◎打音調査	◎防水層の有無	◎設計図書の確認	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無		△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無
			◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視		△耐力評価 △載荷試験	
<p>写真：資料②p.61 図：資料⑤p.37</p>  <p>・部材軸直角方向に大きなひび割れや錆が見られ、部分的なコンクリートの剝離剥落(鉄筋の露出)が認められる。</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下してないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>		
			◎打音調査	◎防水層の有無	◎設計図書の確認	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無		△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無
			◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視		△耐力評価 △載荷試験 一供用停止	
<p>図：資料⑤p.37</p>  <p>・鉄筋の著しい腐食や破断、コンクリートの浮き・剥落が発生している。</p>	<p>区分Ⅳ (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視	<p>△耐力評価 △載荷試験 一供用停止</p>		
			◎打音調査	◎防水層の有無	◎設計図書の確認	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無		△浮き、剥離の有無	△浮き、剥離の有無
			◎外観目視調査	◎塩分測定	◎ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	◎打音調査	△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	△内部空洞	△鉄筋、PC鋼材の配置	△電磁誘導法 △電磁波レーダ法	△鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視		△耐力評価 △載荷試験 一供用停止	




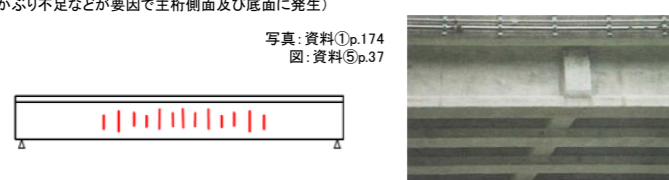
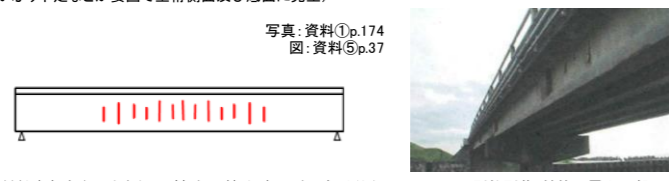
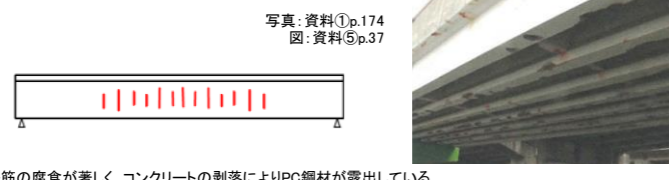
資料①: PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領 国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月  
 資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第1748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—

表-4.9 PC橋上部工での劣化度 a 判定における性能判定の区分別(区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ)の調査方法 選定シート(案)

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル(低, 中, 高)	劣化要因・ 主な要因	必須調査(変状の把握)		劣化原因の推定				性能・機能評価				耐力評価	
			外観目視調査・ 打音調査・ 水の浸入・使用状況調査	外観目視調査・ 打音調査・ 水の浸入・使用状況調査	塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査	耐力評価				
<p>代表的な桁パターン</p> <p>[ホロー桁：主桁本体]</p>  <p>図:資料④p.31</p>														
<p>【3.1 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <p>図:作成</p>  <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあるが錆汁は見られない。 (PC鋼材は腐食していないと想定)</p>	<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・設計以上の上乗荷重 ・プレストレスの不足</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎設計荷重や使用状況などの把握 ○防水層の有無</p>	<p>◎塩分測定 ・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>該当なし</p>	<p>△鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>△内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>△PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法</p> <p>△たわみ計測 ・目視確認</p>	<p>△鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△残存プレストレスの確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>					
<p>【3.2 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <p>図:作成</p>  <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあり、ひび割れから錆汁が確認できる。 (PC鋼材の腐食が懸念されると想定)</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<p>・設計以上の上乗荷重 ・プレストレスの不足</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎設計荷重や使用状況などの把握 ○防水層の有無</p>	<p>△塩分測定 ・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>該当なし</p>	<p>○鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>○内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>○PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法</p> <p>○たわみ計測 ・目視確認</p>	<p>○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○断面欠損 ・コンクリート欠損断面の目視</p> <p>○残存プレストレスの確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>					
<p>【3.3 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <p>図:作成</p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>	<p>区分Ⅳ (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>・設計以上の上乗荷重 ・プレストレスの不足</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎設計荷重や使用状況などの把握 ○防水層の有無</p>	<p>△塩分測定 ・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>該当なし</p>	<p>◎鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>◎PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法</p> <p>◎たわみ計測 ・目視確認</p>	<p>◎鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視 ・鋼材腐食量</p> <p>◎PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>◎断面欠損 ・コンクリート欠損断面の目視</p> <p>◎残存プレストレスの確認 ・コア応力解放法</p>	<p>◎耐力評価 △載荷試験 一供用停止</p>					

資料①: PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月  
 資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—

表-4.10 PC橋上部工での劣化度 a 判定における性能判定の区分別（区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）の調査方法 選定シート（案）

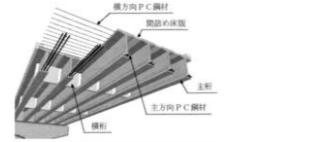
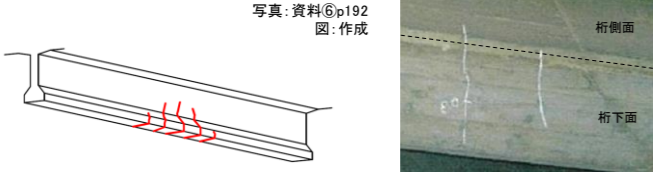
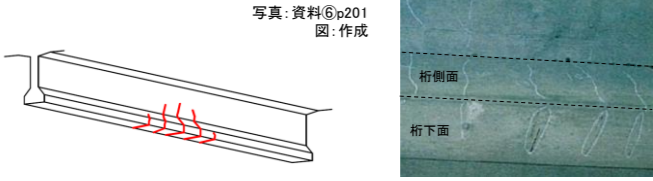
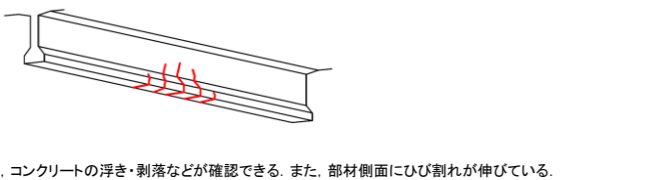
代表的な桁パターン [ T桁：主桁本体 ]	性能判断の区分 (区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ) 損傷レベル(低、中、高)	劣化要因・ 主な要因	必須調査(変状の把握)		劣化原因の推定			性能・機能評価				耐力評価
			外観目視・打音調査、 水の浸入・使用状況調査	塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査				
<p>変状パターン・外観目視状況</p> <p>【1.1 部材軸方向のひび割れ】 写真：資料④p.48 図：資料③p.12、19</p>  <p>・部材軸方向のひび割れから、水しみやエフロレッセンスが見られるが錆汁は見られない。</p>	<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・塩害 ・ASR ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎防水層の有無 ・設計図書の確認</p>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ○ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p>	<p>○鉄筋、PC鋼材の配置 △内部鋼材の腐食状況</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 △PC鋼材の破断</p>	<p>・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>・漏洩磁束法 ・X線透過法</p>	<p>△鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△残存プレストレス力の確認 ・コア応力解放法</p>	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>		
<p>【1.2 部材軸方向のひび割れ】 写真：資料①p.176 図：資料③p.12、19</p>  <p>・部材軸方向のひび割れから水しみやエフロレッセンスが見られ、軽微な錆汁の析出が確認できる。</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・塩害 ・ASR ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎防水層の有無 ・設計図書の確認</p>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ○ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p>	<p>○鉄筋、PC鋼材の配置 △内部鋼材の腐食状況</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 △PC鋼材の破断</p>	<p>・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>・漏洩磁束法 ・X線透過法</p>	<p>○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△残存プレストレス力の確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>		
<p>【1.3 部材軸方向のひび割れ】 写真：資料①p.176 図：資料③p.12、19</p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>	<p>区分Ⅳ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・塩害 ・ASR ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎防水層の有無 ・設計図書の確認</p>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ○ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、弾塑性係数)</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p>	<p>○鉄筋、PC鋼材の配置 ◎内部鋼材の腐食状況</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 △PC鋼材の破断</p>	<p>・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>・漏洩磁束法 ・X線透過法</p>	<p>○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△残存プレストレス力の確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験 一供用停止</p>		
<p>【2.1 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁側面及び底面に発生) 写真：資料①p.174 図：資料⑤p.37</p>  <p>・部材軸直角方向のひび割れから、軽微な錆汁が見られるが、コンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)は見られない。</p>	<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎防水層の有無 ・設計図書の確認</p>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p>	<p>△鉄筋、PC鋼材の配置 △内部鋼材の腐食状況</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 △PC鋼材の破断</p>	<p>・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>・漏洩磁束法 ・X線透過法</p>	<p>△鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△残存プレストレス力の確認 ・コア応力解放法</p>	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>		
<p>【2.2 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁側面及び底面に発生) 写真：資料①p.174 図：資料⑤p.37</p>  <p>・部材軸直角方向に大きなひび割れや錆汁が見られ、部分的なコンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)が認められる。</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎防水層の有無 ・設計図書の確認</p>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p>	<p>○鉄筋、PC鋼材の配置 △内部鋼材の腐食状況</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 △PC鋼材の破断</p>	<p>・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>・漏洩磁束法 ・X線透過法</p>	<p>○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△残存プレストレス力の確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>		
<p>【2.3 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁側面及び底面に発生) 写真：資料①p.174 図：資料⑤p.37</p>  <p>・鉄筋の腐食が著しく、コンクリートの剥落によりPC鋼材が露出している。</p>	<p>区分Ⅳ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎防水層の有無 ・設計図書の確認</p>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p>	<p>△鉄筋、PC鋼材の配置 △内部鋼材の腐食状況</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 △PC鋼材の破断</p>	<p>・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>・漏洩磁束法 ・X線透過法</p>	<p>○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○残存プレストレス力の確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験 一供用停止</p>		

優先度  
凡例(案) ◎：実施が必須、○：実施を推奨、△：場合により実施、×：実施は不要

図：資料④p.31

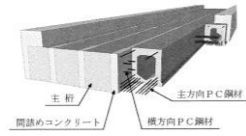
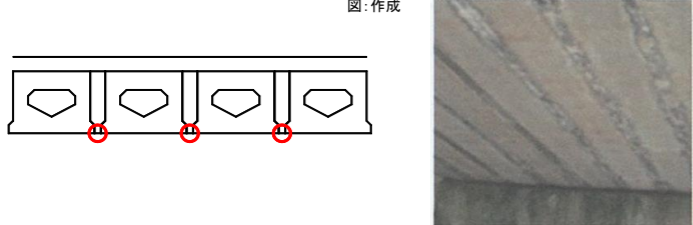
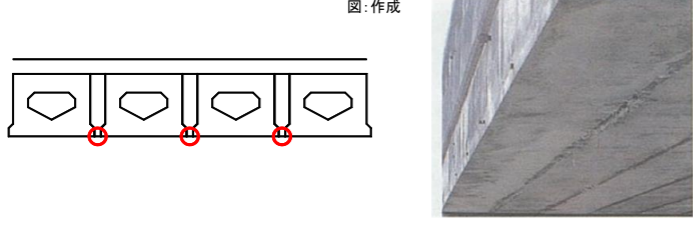
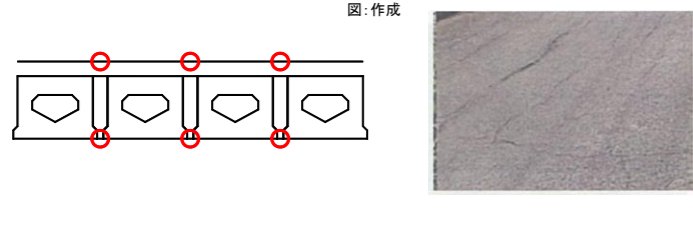
資料①： PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②： 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料－橋梁損傷事例写真集－  
 資料③： 橋梁定期点検要領 国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④： コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月  
 資料⑤： 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥： 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料－橋梁損傷事例写真集－

表-4.11 PC栈橋上部工での劣化度 a 判定における性能判定の区分別 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) の調査方法 選定シート (案)

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル(低, 中, 高)	劣化要因・ 主な要因	必須調査(変状の把握)				劣化原因の推定				性能・機能評価				耐力評価
			外観目視調査・ 打音調査・ 水の浸入・使用状況調査	塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査							
<p>代表的な桁パターン</p> <p>[ T桁: 主桁本体 ]</p>  <p>図: 資料④p.31</p>															
<p>【3.1 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <p>写真: 資料⑥p192 図: 作成</p>  <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあるが錆汁は見られない。 (PC鋼材は腐食していないと想定)</p>	<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・設計以上の上乗荷重 ・プレストレスの不足</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎設計荷重や使用状況などの把握 ・設計図書の確認</p> <p>○防水層の有無</p>	<p>◎塩分測定 ・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>該当なし</p>	<p>△鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>△内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>△PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法 ・X線透過法</p> <p>△たわみ計測 ・目視確認</p>	<p>△鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>△PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p>	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>						
<p>【3.2 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <p>写真: 資料⑥p201 図: 作成</p>  <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあり、ひび割れから錆汁が確認できる。 (PC鋼材の腐食が懸念されると想定)</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<p>・設計以上の上乗荷重 ・プレストレスの不足</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎設計荷重や使用状況などの把握 ・設計図書の確認</p> <p>○防水層の有無</p>	<p>◎塩分測定 ・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>該当なし</p>	<p>○鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>○内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>○PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法 ・X線透過法</p> <p>○たわみ計測 ・目視確認</p>	<p>○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>○断面欠損 ・コンクリート欠損断面の目視</p> <p>△残存プレストレスの確認 ・コア応力解放法</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験</p>						
<p>【3.3 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <p>図: 作成</p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。また、部材側面にひび割れが伸びている。 (PC鋼材が腐食していると想定)</p>	<p>区分Ⅳ (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>・設計以上の上乗荷重 ・プレストレスの不足</p>	<p>◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p> <p>◎打音調査 ・浮き、剥離の有無</p> <p>◎設計荷重や使用状況などの把握 ・設計図書の確認</p> <p>○防水層の有無</p>	<p>△塩分測定 ・ドリル法</p>	<p>該当なし</p>	<p>該当なし</p>	<p>◎鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法</p> <p>◎内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法</p> <p>◎PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法 ・X線透過法</p> <p>◎たわみ計測 ・目視確認</p>	<p>◎鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視 ・鋼材腐食量</p> <p>◎PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視</p> <p>◎断面欠損 ・コンクリート欠損断面の目視</p> <p>○残存プレストレスの確認 ・コア応力解放法</p>	<p>◎耐力評価 △載荷試験 一供用停止</p>						

資料①: PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレス・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術、プレストレスコンクリート工学会、2021年1月  
 資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレスコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—

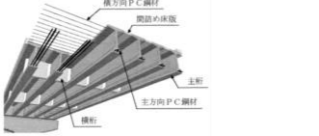
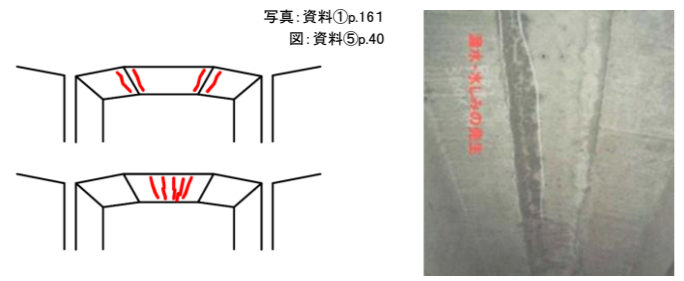
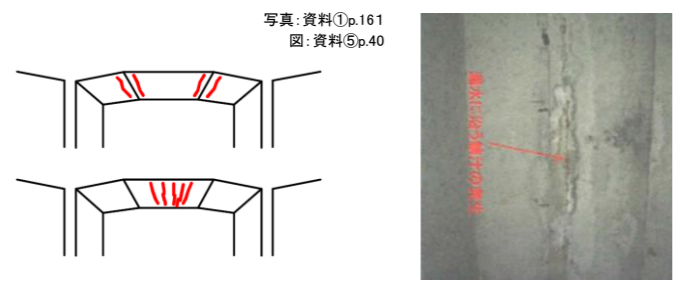
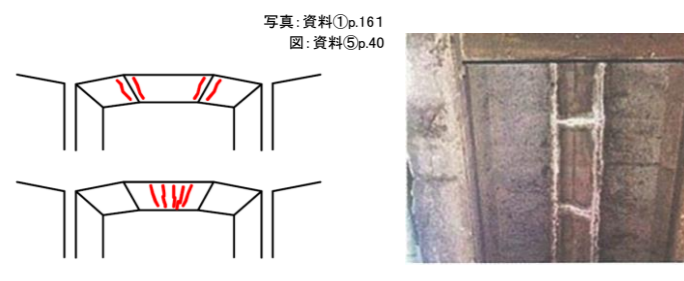
表-4.12 PC橋上部工での劣化度 a 判定における性能判定の区分別（区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）の調査方法 選定シート（案）

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ) 損傷レベル(低、中、高)	劣化要因・主な要因	必須調査(変状の把握)		劣化原因の推定				性能・機能評価			耐力評価	
			外観目視・打音調査、 水の浸入、使用状況調査	塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査					
<p>代表的な桁パターン</p> <p>[ホロ一桁：間詰め部・横締め部]</p>  <p>図：資料④p.31</p>													
<p>【1.1 間詰め部の漏水】</p> <p>写真：資料①p.162 図：作成</p>  <p>・間詰め部から、漏水(水しみ)が生じているが、錆汁は見られない。</p>	<p>区分Ⅱ</p> <p>(参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<p>・橋面からの漏水 ・橋面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入 ・ASR ・PCグラウトの充填不足 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水シミ発生箇所</li> </ul> <p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul> <p>◎防水層の有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計図書の確認</li> </ul> <p>◎履歴確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工記録、維持管理記録の確認</li> </ul>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、静弾性係数)</p>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> </ul> <p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul> <p>◎PCグラウトの状態</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通気法</li> <li>・CCDカメラ</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> </ul> <p>△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サーモグラフィ法</li> </ul> <p>△内部空洞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul>	<p>△PC鋼材などの配置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul> <p>△コンクリート中のひび割れ深さ、浮き・剥離・内部欠陥など</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打音法</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> </ul>	<p>△防水層、排水ドレーンの有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エプロン舗装のコア削孔</li> </ul> <p>△鉄筋、PC鋼材などの配置、内部鋼材の腐食状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・はつり調査</li> </ul> <p>△間詰めコンクリートの充填状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・はつり調査</li> <li>・コア削孔</li> </ul>	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p> <p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p> <p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験 一併用停止</p>			
<p>【1.2 間詰め部の漏水】</p> <p>写真：資料①p.162 図：作成</p>  <p>・間詰め部から、漏水(水しみ)が生じており、錆汁や局部的なひび割れ、剥離などが認められる。</p>	<p>区分Ⅲ</p> <p>(参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<p>・橋面からの漏水 ・橋面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入 ・ASR ・PCグラウトの充填不足 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水シミ発生箇所</li> </ul> <p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul> <p>◎防水層の有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計図書の確認</li> </ul> <p>◎履歴確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工記録、維持管理記録の確認</li> </ul>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、静弾性係数)</p>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> </ul> <p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul> <p>◎PCグラウトの状態</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通気法</li> <li>・CCDカメラ</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> </ul> <p>△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サーモグラフィ法</li> </ul> <p>△内部空洞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul>	<p>△PC鋼材などの配置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul> <p>△コンクリート中のひび割れ深さ、浮き・剥離・内部欠陥など</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打音法</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> </ul>	<p>△防水層、排水ドレーンの有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エプロン舗装のコア削孔</li> </ul> <p>△鉄筋、PC鋼材などの配置、内部鋼材の腐食状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・はつり調査</li> </ul> <p>△間詰めコンクリートの充填状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・はつり調査</li> <li>・コア削孔</li> </ul>	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験 一併用停止</p>			
<p>【1.3 間詰め部の漏水】</p> <p>写真：資料①p.162 図：作成</p>  <p>・舗装面および桁下面で、間詰め位置に沿ったひび割れが多数生じている。</p>	<p>区分Ⅳ</p> <p>(参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>・橋面からの漏水 ・橋面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入 ・ASR ・PCグラウトの充填不足 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水シミ発生箇所</li> </ul> <p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul> <p>◎防水層の有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計図書の確認</li> </ul> <p>◎履歴確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・施工記録、維持管理記録の確認</li> </ul>	<p>◎塩分測定</p> <p>・ドリル法</p>	<p>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、静弾性係数)</p>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> </ul> <p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul> <p>◎PCグラウトの状態</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・通気法</li> <li>・CCDカメラ</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> </ul> <p>△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サーモグラフィ法</li> </ul> <p>△内部空洞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul>	<p>△PC鋼材などの配置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul> <p>△コンクリート中のひび割れ深さ、浮き・剥離・内部欠陥など</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・打音法</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> </ul>	<p>△防水層、排水ドレーンの有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エプロン舗装のコア削孔</li> </ul> <p>△鉄筋、PC鋼材などの配置、内部鋼材の腐食状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・はつり調査</li> </ul> <p>△間詰めコンクリートの充填状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・はつり調査</li> <li>・コア削孔</li> </ul>	<p>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</p>	<p>△耐力評価 △載荷試験 一併用停止</p>			

資料①： PC建造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②： 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③： 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④： コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月  
 資料⑤： 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥： 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—



表-4.13 PC橋上部工での劣化度 a 判定における性能判定の区分別 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) の調査方法 選定シート (案)

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル(低, 中, 高)	劣化要因・主な要因	必須調査(変状の把握)		劣化原因の推定				性能・機能評価			耐力評価	
			外観目視・打音調査、 水の浸入、使用状況調査	塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査					
<p>代表的な桁パターン</p> <p>[ T桁：間詰め部・横締め部 ]</p>  <p>図：資料④p.31</p>													
<p>【1.1 間詰め床版部の漏水】</p> <p>写真：資料①p.161 図：資料⑤p.40</p>  <p>・間詰め部の打継目から、漏水(水しみ)が生じているが、錆汁は見られない。</p>	<p>区分Ⅱ</p> <p>(参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下してないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋面からの漏水</li> <li>橋面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入</li> <li>ASR</li> <li>初期欠陥</li> <li>PCグラウトの充填不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎防水層の有無</li> <li>◎履歴確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水シミ発生箇所</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・設計図書の確認</li> <li>・施工記録、維持管理記録の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎塩分測定</li> <li>・ドリル法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長)</li> <li>◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡)</li> <li>△促進膨張試験(残存膨張量)</li> <li>△強度特性(圧縮強度、静弾性係数)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎PCグラウトの状態</li> <li>△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水</li> <li>△内部空洞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・通気法</li> <li>・CCDカメラ</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> <li>・サーモグラフィ法</li> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</li> </ul>		
<p>【1.2 間詰め床版部の漏水】</p> <p>写真：資料①p.161 図：資料⑤p.40</p>  <p>・間詰め部の打継目から、漏水(水しみ)が生じており、錆汁や局所的なひび割れ、剥離などが認められる。</p>	<p>区分Ⅲ</p> <p>(参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下してないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋面からの漏水</li> <li>橋面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入</li> <li>ASR</li> <li>初期欠陥</li> <li>PCグラウトの充填不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎防水層の有無</li> <li>◎履歴確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水シミ発生箇所</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・設計図書の確認</li> <li>・施工記録、維持管理記録の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎塩分測定</li> <li>・ドリル法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長)</li> <li>◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡)</li> <li>△促進膨張試験(残存膨張量)</li> <li>△強度特性(圧縮強度、静弾性係数)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎PCグラウトの状態</li> <li>△内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水</li> <li>△内部空洞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・通気法</li> <li>・CCDカメラ</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> <li>・サーモグラフィ法</li> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△鉄筋、PC鋼材などの配置</li> <li>・電磁誘導法</li> <li>・電磁波レーダ法</li> <li>△コンクリート中のひび割れ深さ、浮き、剥離・内部欠陥など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△防水層、排水ドレーンの有無</li> <li>△鉄筋、PC鋼材などの配置、内部鋼材の腐食状況</li> <li>△間詰めコンクリートの充填状況</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△エプロン舗装のコア削孔</li> <li>・はつり調査</li> <li>・はつり調査</li> <li>・コア削孔</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・必要に応じ、損傷レベルが高位の調査項目を参照して実施した方が良い場合もある。</li> </ul>	
<p>【1.3 間詰め床版部の漏水】</p> <p>写真：資料①p.161 図：資料⑤p.40</p>  <p>・間詰め部の打継目から、漏水(水しみ)が生じており、錆汁や局所的なひび割れに加え、広範な剥離などが認められる。</p>	<p>区分Ⅳ</p> <p>(参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>橋面からの漏水</li> <li>橋面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入</li> <li>ASR</li> <li>初期欠陥</li> <li>PCグラウトの充填不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎防水層の有無</li> <li>◎履歴確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水シミ発生箇所</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・設計図書の確認</li> <li>・施工記録、維持管理記録の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎塩分測定</li> <li>・ドリル法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長)</li> <li>◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡)</li> <li>△促進膨張試験(残存膨張量)</li> <li>△強度特性(圧縮強度、静弾性係数)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎PCグラウトの状態</li> <li>○内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水</li> <li>○内部空洞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・通気法</li> <li>・CCDカメラ</li> <li>・超音波法</li> <li>・衝撃弾性波法</li> <li>・サーモグラフィ法</li> <li>・電磁波レーダ法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○鉄筋、PC鋼材などの配置</li> <li>・電磁誘導法</li> <li>・電磁波レーダ法</li> <li>○コンクリート中のひび割れ深さ、浮き、剥離・内部欠陥など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○防水層、排水ドレーンの有無</li> <li>○鉄筋、PC鋼材などの配置、内部鋼材の腐食状況</li> <li>○間詰めコンクリートの充填状況</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>△エプロン舗装のコア削孔</li> <li>・はつり調査</li> <li>・はつり調査</li> <li>・コア削孔</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○耐力評価</li> <li>△載荷試験</li> <li>一供用停止</li> </ul>	

資料①: PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月  
 資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—

## 5. 性能評価

### 5.1 構造解析を伴う性能評価

目視調査および詳細調査の結果、耐荷力低下の傾向が顕著な場合や耐荷力はあまり低下していないもののPC鋼材が劣化を始めている場合等の要因で対策が決定できない場合が発生する。本章ではこのような場合、構造解析を伴う性能評価の実施方法について述べる。以下の図-5.1に本章の適用範囲を示す。

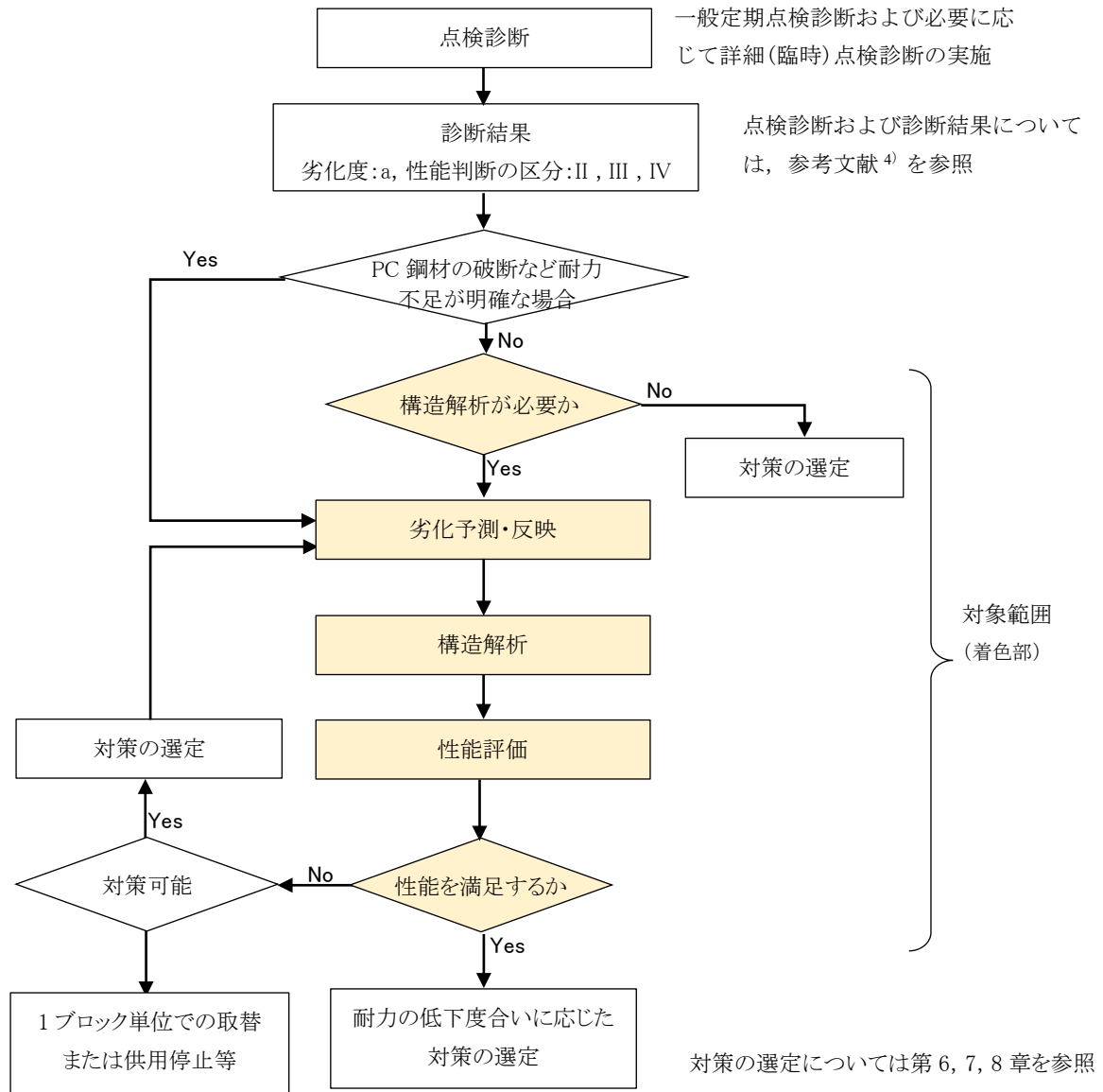


図-5.1 構造解析を伴う性能評価のフロー図

### 5.2 構造解析の要否判定

構造解析が必要かどうかの判定は、劣化の状態やPC栈橋上部工が保有する耐荷力や耐久性の余裕度等を総合的に判断して決定する。ただし一般的には以下の表-5.1の様で考慮できる。

表-5.1 構造解析の要否判定の例

劣化度	性能判断の区分	構造解析の必要性	適用
a	II	性能判断の区分 II の状態は、劣化作用は認められるもののまだ耐荷性能が下がっていない状態であり、一般的には耐荷性能が下がっていない状態であるため構造解析は不要であると考えられる。ただし、耐荷性能の進行や劣化部材の重要度等を総合的に判断する必要がある。	ここに記載した考え方はあくまで一般的な傾向の例であり、耐荷力や耐久性等を総合的に判断して決定する。
	III	劣化によりまだ耐荷力がほとんど低下していない状態であり、構造解析が必要かどうかは劣化が進んでいる部材や重要度等により判断する。例えば構造上重要である PC 鋼材の劣化が進んでいるようであれば解析が必要であり、一方スターラップが腐食している状態でせん断耐力に余裕があると判断される場合には、劣化進行防止策を考慮する方向性となる。	
	IV	劣化により耐荷力低下の傾向が顕著であるため、一般的には構造解析を行う必要がある。	

### 5.3 劣化状態の反映

劣化・損傷調査は、すべての PC 鋼材を露出して発錆を確認出来ないため、解析の実施にあたっては発見できない劣化・損傷箇所があった場合でも安全側になる方策を取るべきである。現状の劣化状態を設定した後に、残存供用期間終了時の劣化状態を予測する必要がある。この場合劣化メカニズムおよび調査結果を元に想定することとする。以下の図-5.2 にこれらの概念図を示す。

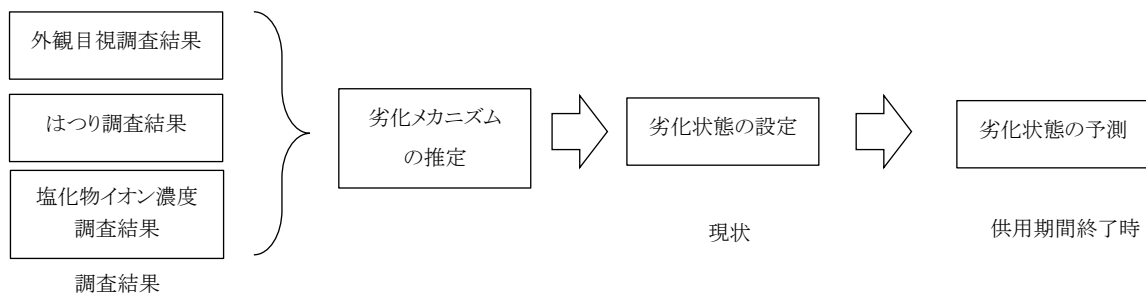


図-5.2 劣化予測の検討概念図

ただし、現状の劣化状態を進行させない対策を行う方法も考えられるため、残存供用期間終了時の劣化状態の想定は、劣化メカニズムと対策を総合的に判断して設定すべきである。適切な劣化状態の設定が出来ない場合などは、専門家の意見を踏まえて劣化状態の設定を行う必要がある。安全側になる方策の例は、事例 10.1 に示す。

### 5.4 構造解析

#### (1) 照査項目および基本的な手順

以下に PC 栈橋技術マニュアル<sup>リ</sup>から、PC 栈橋の設計手順のフロー図を図-5.3 に示す。PC 栈橋の設計手順は、永続・変動状態での基礎杭の応力・支持力の照査、上部工に関する照査を実施した後に、偶発対応施設の場合は偶発状態での変形量および栈橋の損傷に関する照査を行うこととなっており、劣化を伴う構造解析においてもこれらの手順は変わらない。本章では PC 栈橋上部工を対象としており、杭や受梁などプレキャスト PC 桁以外の部材について記載していないが、それらに

についても構造的に所要の性能を満足することを確認する必要がある。また、杭が劣化することで地震時の変位が大きくなりプレキャスト PC 桁に作用する断面力が大きくなる等、他部材の劣化・損傷が小さくても連鎖して PC 栈橋上部工に影響する可能性がある等に留意する必要がある。

一般的な解析手順は、以下の手順となる。

- ① 現状把握：  
プレキャスト PC 桁が劣化した状態での構造解析、照査を行い、作用耐力比の現状把握
- ② 対策工法の選定：  
耐力不足を補う補修・補強工法の選定や、劣化進行を抑制する工法の選定
- ③ 供用終了時の把握：  
対策を見込んだ状態での構造解析・照査を行う場合や劣化防止策の耐久性の照査

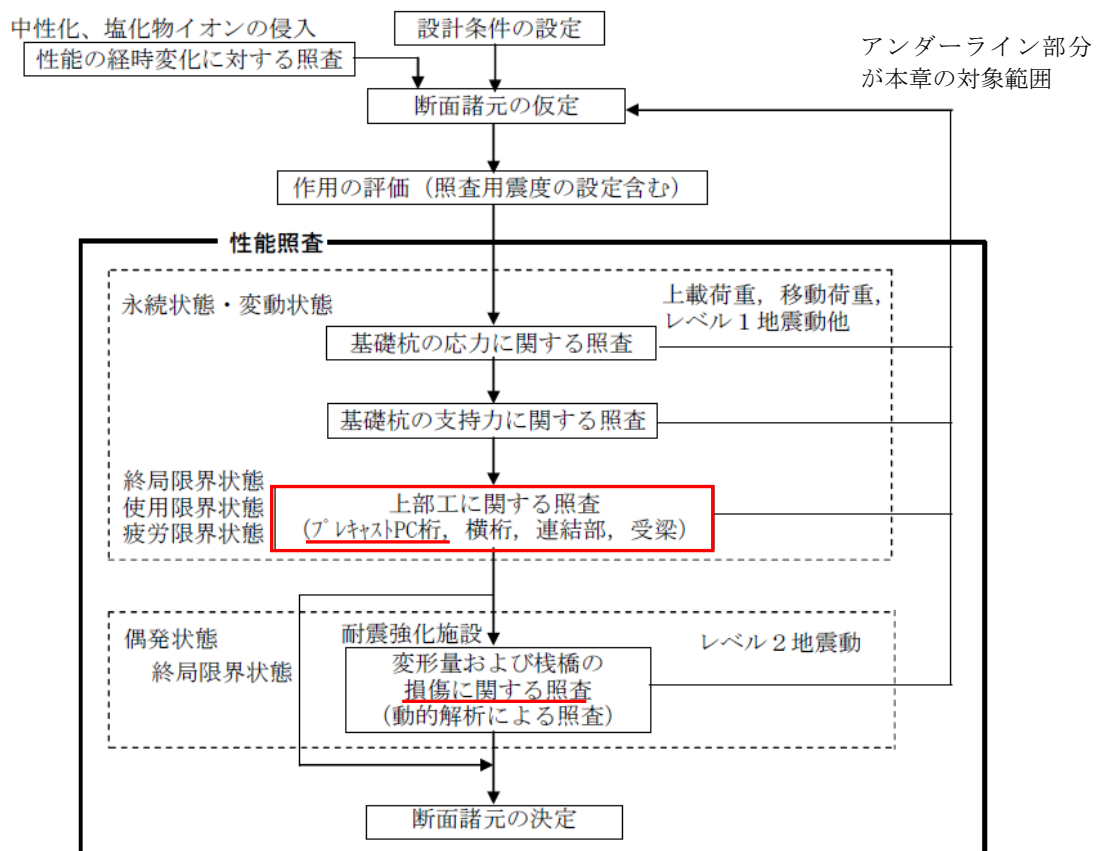


図-5.3 PC 栈橋の設計手順<sup>1)</sup>

## (2) 構造解析手法の使い分け

PC 栈橋上部工の構造解析手法には主に、版理論、格子構造理論、非線形 FEM 解析に分類される。この中でより実挙動に近くなると考えられる解析手法は、①非線形 FEM 解析、②格子構造理論、③版理論の順であり、これはより高度な解析技術が必要な順でもある。

### 1) 版理論、格子構造理論

PC 栈橋上部工の照査において、断面力の算出は横桁で一体化された主桁全体として評価することが一般的であり、版理論、格子構造理論を用いて算出されることが多い。版理論による手法はギヨン・マソネなどによる影響線値を用いて断面力を算出する手法であり、電算技術が現在ほど向上していない年代では最もよく使われた手法である。格子構造理論による手法は、全主桁および横桁を格子骨組モデルで再現する格子解析によって断面力を算出する手法であり、版理論では算出しに

くい比較的特殊な形状にも対応しやすい手法である。また格子解析は主桁ごとに剛性を評価するため、それらの劣化状況を反映した断面力の算出が可能である。主桁が劣化している場合、例えばかぶりコンクリートの剥落により主桁の性能は建設時より低下し、また劣化状態の違いにより各主桁の剛性も異なることから各主桁の断面力分担割合が変化しており、こういった場合には格子解析を用いる必要がある。

## 2) 非線形 FEM 解析

版理論、格子構造理論以外の手法として有限要素法（FEM 解析）が挙げられる。非線形 FEM 解析は、剛性の変化だけでなく、幾何学的非線形、材料非線形などを評価できるため、劣化による形状変化、たわみの影響、応力-ひずみ曲線を反映したより実挙動に近いと考えられる解析が可能である。ただし、版理論、格子構造理論による解析に対して、より高度な解析技術が必要な手法である。

## 3) 構造解析手法の使い分け

以上を踏まえると、構造解析手法の標準的な手順は以下の図-5.4 となる。

- 建設時の設計においてギヨン・マソネ（版理論）が使用されている場合でも、劣化の影響を考慮する必要があるためこれらを考慮可能な格子解析（格子構造理論）を使用する必要がある
- その結果を踏まえ、さらにより詳細に劣化状態を反映させる場合、もしくは、より詳細に性状を把握する場合は、非線形 FEM 解析を行う。

本手引き（案）作成時に、単純桁構造のプレテンション方式ホロー桁をひとつの例として、ギヨン・マソネ（版理論）と格子解析（格子構造理論）で得られる断面力の比較を行った。この検討では劣化は考慮していない。主桁に着目すると、曲げモーメントは両手法で大きく変わらない結果となった。ただし、せん断力は格子解析がギヨン・マソネに対して大きくなる傾向（最大約 30%）を示した。格子解析での変動荷重の荷重分配効果の影響が理由の一つと考えられる。

上記のギヨン・マソネ（版理論）と格子解析（格子構造理論）の比較に続いて、文献<sup>2)</sup>において格子解析と非線形 FEM 解析の比較が行われた。この比較検討では、PC 桁の劣化状態、劣化範囲および劣化した桁本数の組合せで、12 ケースが設定されている。2つの解析方法の比較の結果、曲げ応力度は、格子解析が非線形 FEM 解析に対して安全側（引張側）となる傾向を示した。せん断に着目すると、終局限界状態では格子解析では制限値を満足しないが、非線形 FEM 解析ではせん断破壊とはならない結果となった。

これらの比較検討より、格子解析後に非線形 FEM 解析を実施するかどうかの判断基準として、以下が例として挙げられる。

- 格子解析による照査の結果、主桁のせん断力に対する照査のみ満足しない場合
- 格子解析による照査の結果耐力不足となるが、その不足量が小さい場合

なお、文献<sup>2)</sup>の検討では地震時における解析手法の違いによる挙動の違いは確認ができていないため、別途確認が必要である。また、横桁の断面力（曲げモーメントおよびせん断力）は格子解析とギヨン・マソネとで大きく異なる傾向を示した。そのため、横桁に着目した照査を行う際は、解析手法について別途検討が必要である。

これらの比較は、横桁が有効に働いている前提で検討を行っている。そのため劣化を受けた桁の不足耐力を、横桁を通じて他の健全な桁が受け持ち PC 栈橋上部工全体の性能を満足する可能性を示している。

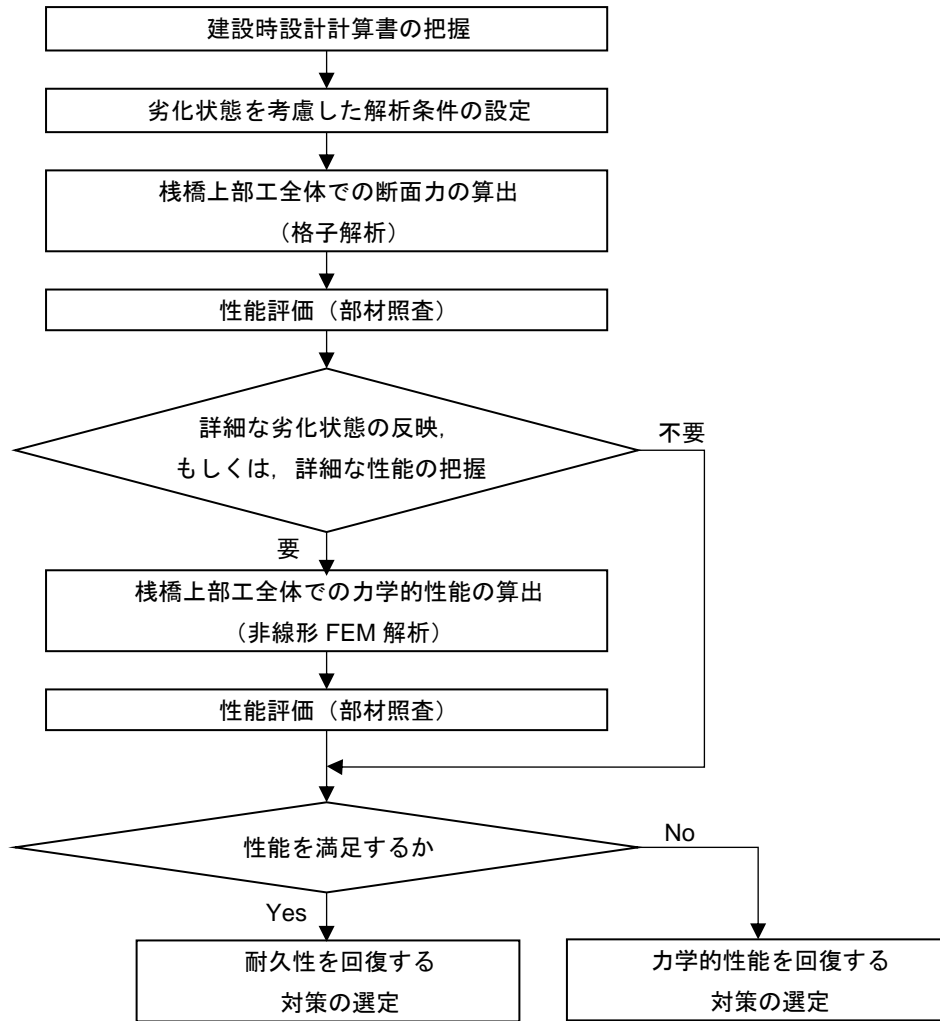


図-5.4 構造解析手法の標準的な手順

### (3) 適用すべき基準の年代

港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 30 年度）において劣化箇所の補修だけを行う場合は、設計された時点での基準を用いれば良いとされている。一方、以下に該当する場合は改良設計となり、その時点での最新の技術基準に適合しなければならない。

- ① 既存施設の用途の変更（係船岸を護岸に変更等）
- ② 既存施設の性能の変更（設計波，対象地震，対象船舶，荷役機械の見直し等）
- ③ 既存施設の供用期間の延長

現行基準以外で設計されている場合，その施設について供用期間の延長，対象船舶や荷役機械の見直し等が劣化部の補修と合わせて実施される場合には，健全である残存施設を含めて現行基準に適合しなければならなくなることに注意が必要である。

### (4) 注意を要する構造解析の状態

補修を行う際には新設で施工する場合と違い，架設した PC 桁の上にクレーンを設置する等，施工時の荷重状況が変化する場合もあるため，施工方法などを考慮した検討を行うべきである。

また新設栈橋の場合，疲労限界状態の照査は省略することが多いが，既設の場合で損傷部分の劣化進行抑止策だけを行った際に，損傷部分の変位が大きくなり結果的に疲労限界検討が必要になるなどの場合があるため，注意が必要である。

## 5.5 性能評価

性能評価での性能を満足するとは、港湾の施設の技術上の基準・同解説で規定されている性能規定項目をすべて満足することとする。その項目は、地震動、船舶の接岸および牽引、載荷重、変動波浪等の外力に対して断面耐力が不足しないこと（健全性を損なう危険性が限界値以下であること）である。以下の表-5.2, 表-5.3 に現行基準(平成 30 年度)で規定されている性能規定項目の内、上部工に関する記載を示す。ただし、対象とする PC 栈橋上部工が最新基準より古い基準で設計されており、かつ補修設計の範囲である場合は、準拠すべき基準にしたがった性能規定項目を満足することとする。

表-5.2 耐震強化施設の場合の照査項目および限界値の指標<sup>3)</sup>

省令			告示			要求性能	設計状態		照査項目	限界値を定める標準的な指標	
条	項	号	条	項	号		状態	主たる作用			従たる作用
29	2	2	55	1	-	修復性・使用性	偶発状態	レベル2 地震動	自重, 載荷重	法線の変形	残留変形量
										上部工の断面破壊	設計断面耐力
										杭の損傷	限界曲率
										杭に作用する軸方向力	杭の支持力

表-5.3 栈橋上部工に関する性能照査項目および限界値指標<sup>3)</sup>

省令			告示			要求性能	設計状態		照査項目	限界値を定める標準的な指標	
条	項	号	条	項	号		状態	主たる作用			従たる作用
29	1	2	55	2	イ	使用性	変動状態	船舶の接岸および牽引	自重, 載荷重	上部工の断面破壊	設計断面耐力
								レベル1 地震動	自重, 載荷重		
								載荷重(荷役作業時の裁荷重を含む)	自重, 荷役機械および船舶に作用する風	上部工の断面のひび割れ幅	曲げひび割れ幅
								繰り返し作用する載荷重	自重	上部工の疲労破壊	設計疲労強度
								波浪変動	自重	上部工の断面破壊	設計断面耐力

耐震強化施設の場合、偶発状態での修復性・使用性を照査する必要があり、耐震強化施設以外では変動状態での使用性を照査する必要がある。使用性の照査では、上部工の断面破壊および上部工の断面のひび割れ幅を照査する必要がある。以下の表-5.4, 表-5.5 に各状態での照査項目の詳細および制限値を示す。

表-5.4 上部工の断面のひび割れ幅照査での照査項目および制限値<sup>1)をもとに表に集計</sup>

検討項目	照査項目	制限値等
曲げモーメントおよび軸方向力に対する検討	永続状態においてコンクリートに生じる曲げ圧縮応力度	$0.4 \cdot f_{ck}$
	変動状態においてコンクリートに生じる曲げ引張応力度	永続状態では $0\text{N/mm}^2$ (フルプレストレス) 変動状態では曲げひび割れ強度の値
	変動状態において PC 鋼材に生じる応力度	$0.7 \cdot f_{pk}$
せん断に対する検討	変動状態においてコンクリートに生じる斜め引張応力度	コンクリート標準示方書[設計編：本編] 15 章 15.7 使用性に関する照査に準じる
変位・変形に対する検討	変動状態において桁に生じるたわみ	道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 2.3 荷重に対する安全性の照査参照

表-5.5 上部工の断面破壊での照査項目および制限値等<sup>1)</sup>をもとに表に集計

照査項目	制限値等
曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討	構造物係数×設計断面力/設計断面耐力が 1.0 以下
せん断力に対する安全性の検討	

上部工の断面のひび割れ幅照査では、PC 構造であるために部材の引張側の設計断面力が曲げひび割れ強度以下となっており、実際にはひび割れが発生しない。そのため、通常 RC で照査を行うひび割れ幅の検討が無く、コンクリートに発生する曲げ引張強度の照査項目などがそれを包括して照査する項目となっている。またこれらの項目を標準的な作用の組合せて表示すると、以下の表-5.6 のようになる。

表-5.6 各状態での照査項目および標準的な限界値の指標<sup>1)</sup>をもとに改変

要求性能	状態			照査項目	標準的な限界値の指標			
	状態	主作用	従作用					
使用性	永続 (施工時)	プレストレス力 (緊張直後)	自重	上部工断面の使用性	PC 鋼材応力度の制限値 曲げひび割れ強度の制限値			
		自重 (架設時)	プレストレス力					
		自重 (横桁施工時)	プレストレス力					
		栈橋面荷重 (舗装等施工時)	自重 プレストレス力					
	変動	船舶接岸力	船舶牽引力	自重+載荷重	上部工の断面破壊	設計断面耐力 (終局限界)		
							LI 地震動	
							載荷重 (荷役作業時)	自重+荷役機械重量+ 船舶に作用する風力
			揚圧力	自重				
		船舶接岸力	船舶牽引力	自重+載荷重	上部工断面の使用性	曲げひび割れ強度または 曲げひび割れ幅の制限値 および コンクリート圧縮応力度		
							載荷重 (荷役作業時)	自重+荷役機械重量+ 船舶に作用する風力
			群衆荷重	自重			上部工の疲労破壊	設計疲労強度
			活荷重 (荷役作業時)					

性能評価では、上記の表のすべての項目について限界値や制限値を超えない状態であるかの確認を行う必要がある。

参考文献

- 1) PC 栈橋技術マニュアル(2010 年度版), 財団法人沿岸技術研究センター, 平成 22 年 7 月
- 2) 田中豊, 川端雄一郎, 加藤絵万, 鈴鹿良和, 河邊修作, 中嶋道雄, 石井豪, 立神久雄, 小笠原哲也: 劣化した PC 栈橋上部工の構造性能に関する解析的検討, 港湾空港技術研究所報告, Vol.60, No.3, pp.3-67, 2021.12.
- 3) 港湾の施設の技術上の基準同解説, 公益財団法人日本港湾協会, 平成 30 年 5 月
- 4) 港湾の施設の維持管理技術マニュアル(改訂版), 財団法人沿岸技術研究センター, 平成 30 年 7 月



## 6. 対策の選定

### 6.1 選定フロー

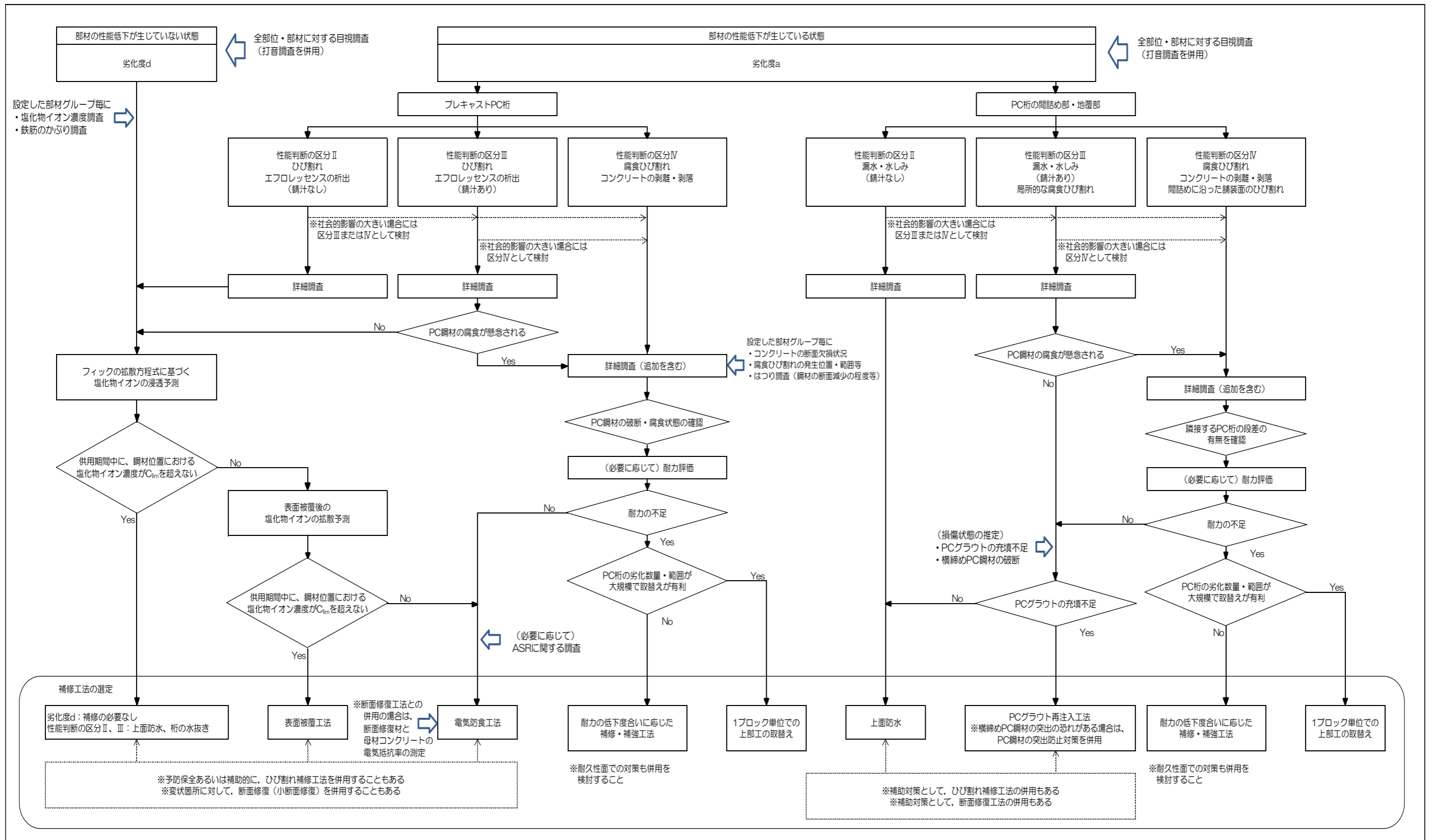
PC 栈橋上部工の対策工法（補修・補強工法）の選定に当たっては、以下の点に留意する。

- 1) プレキャスト PC 桁および間詰め部の PC 鋼材の腐食や破断による PC 栈橋上部工の耐荷力の低下を未然に防ぐように適切な補修シナリオを設定することが重要であり、塩化物イオンや水などの劣化因子の浸透防止、PC 鋼材の腐食防止を目的とした予防保全的な補修シナリオを設定する必要がある。
- 2) 各部材の劣化の進行に応じて、適切な塩害対策工法および防水対策工法を選定する必要がある。図-1.3 に、部材の劣化度に応じた標準的な対策工法の選定フローを示す。図-1.3 では、変状の状態として、劣化度 a および劣化度 d のほかに、表-1.4 および表-1.5 に示すとおり、劣化度 a の中でも外観状況から性能を判断する区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳによる判定を用いる。

図-6.1 は、港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>1)</sup>の選定フローを基本に項目を追加、再整理したフロー図である。具体的には、劣化度 a の場合に、各部材での性能判断の区分に応じてより細分化して詳細調査の仕様を決めるとともに、必要に応じて耐力評価を行い、その結果から対策工法を選定する流れにしている。なお、選定フローには「(必要に応じて) 耐力評価」を実施する項目を設けているが、耐力評価を実施する必要がある場合の考え方や耐力不足の判断方法などについては、第 5 章「性能評価」を参照するものとする。

この選定フローより、次の 4 つの場合（プレキャスト PC 桁の劣化度 d、劣化度 a、間詰め部・横締め部（地覆部）の劣化度 d、劣化度 a）の対策工法の選定手順について以降で述べる。

なお、本章で記載する調査は、補修・補強設計のために実施するものである。



「C<sub>lim</sub>: 鉄筋腐食発生限界濃度」

図-6.1 PC 栈橋上部工における標準的な補修・補強工法の選定フロー (案)

## 6.2 プレキャストPC桁

### (1) 劣化度dの場合

- ・部材の性能低下が生じていない状態であるため、基本的には補修の必要なし。
- ・補修設計のための調査で設定した部材グループ毎に、塩化物イオン濃度および鉄筋のかぶり調査を実施する。
- ・その調査結果を利用して、供用期間中に鋼材位置における塩化物イオン濃度が鉄筋腐食発生限界濃度（「港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>2)</sup>」では $2.0\text{kg/m}^3$ としている）を超えるか否かを確認する。
- ・供用期間中に超える場合は、表面被覆工法の適用性を検討する。このとき、表面被覆工法を適用する前の塩化物イオン濃度分布から、表面被覆工法の適用後の浸透予測を実施し、表面被覆工法により塩化物イオン濃度が鋼材位置で鉄筋腐食発生限界濃度を下回ることを確認する。
- ・表面被覆工法を適用しても、供用期間中に超える場合には、電気防食工法の適用を検討する。

### (2) 劣化度aの場合

- ・プレキャストPC桁で劣化度aと判定される場合は、「PC鋼材の腐食が懸念されるか否か」で対策の選定が大きく異なるとともに、表-1.4に示されるプレキャストPC桁下面の外観状況に応じた性能判断の区分(案)の区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの判定により対策の選定手順が異なる。
- ・区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳのいずれの判定でも、次のステップでは詳細点検診断を実施する。各区分に応じた調査方法(あるいは点検診断項目)は、表-4.8～表-4.11 PC 栈橋上部工(主桁本体)での劣化度a判定における性能判断の区分別(区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ)の調査方法選定シート(案)を参照して選定するものとする。なお、この選定シートは、代表的な桁パターンとしてホロー桁とT桁に分類して記している。
- ・区分Ⅱと判定される場合は、供用期間中に鋼材位置における塩化物イオン濃度が鉄筋腐食発生限界値を超えるか否かを確認する。なお、区分ⅡでのPC桁の部材軸方向のひび割れがASRによる場合もあるため、追加調査でASRの可能性を確認することが重要である。
- ・区分Ⅱと判定されたが、供用期間中に超えない場合は、PC 栈橋上部工の上面防水やプレキャストPC桁の中空断面部の水抜きなどにより水の浸透防止対策を行う。供用期間中に超える場合は、表面被覆工法の適用を検討する。表面被覆工法を適用しても、供用期間中に超える場合は、電気防食工法の適用を検討する。
- ・区分Ⅲと判定される場合は、詳細点検診断の結果からPC鋼材の腐食が懸念されないようであれば、区分Ⅱと同様の対策の選定を行う。ただし、PC鋼材の腐食が懸念される場合は、区分Ⅳと同様に対策の選定を行う必要がある。
- ・なお、局所的に変状が確認された部材に対しては、該当部分にひび割れ補修工法や小断面修復(左官工法など)を併用することもある。ただし、ASRとの複合劣化が生じている場合は、対策後(特に、電気防食工法の適用後)にASRによる劣化が促進されないことを確認するための点検診断計画を検討しておく必要がある。
- ・区分Ⅳと判定される場合は、詳細点検診断の結果からPC鋼材の破断が確認されないようであれば、区分Ⅲと同様の対策の選定(中でも、電気防食工法の適用の検討)を行う。また、局所的な変状に対しては、その他の工法を併用することもある。ただし、PC鋼材の破断が確認される場合、もしくは、耐力評価が必要と判断される場合、第10章 ケーススタディ 10.1 ケース1で示す「解析による耐力評価(案)」を参考に耐力評価を行い、その結果を用いて耐力の低下度合いに応じた対策や1ブロック単位での上部工の取替えなどを検討する。ここで、人命に関わる重大な事故につながる可能性がある場合には、補修対策を講じる前に直ちに通行止めや荷重制限などの措置を検討した方がよい。

## 6.3 間詰め部・横締め部(地覆部)

### (1) 劣化度dの場合

プレキャストPC桁の劣化度dの場合と同様

### (2) 劣化度aの場合

- ・間詰め部・横締め部(地覆部)で劣化度aと判定される場合でも、「PC鋼材の腐食が懸念されるか否か」で対策の選定が大きく異なるとともに、表-1.5に示される間詰め部(横締めPC鋼材を含む)の外観状況に応じた性能判断の区分(案)の区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳの

判定により対策の選定手順が異なる。

- ここで、区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳのいずれの判定でも、次のステップでは詳細点検診断を実施する。なお、各区分に応じた調査方法（あるいは点検診断項目）は、表-4.12～表-4.13 PC 栈橋上部工（間詰め・横締め部）での劣化度 a 判定における性能判断の区分別（区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）の調査方法選定シート（案）を参照して選定するものとする。なお、この選定シートは、代表的な桁パターンとしてホロー桁と T 桁に分類して記している。
- 区分Ⅱと判定される場合は、上面防水が基本となるが、ひび割れ補修工法や断面修復工法を補助対策として併用することもある。
- 錆汁を伴う漏水や局所的な腐食ひび割れが認められ、区分Ⅲと判定される場合は、横締め PC 鋼材の腐食により錆汁が生じている可能性が高く、この腐食の原因の 1 つとして PC グラウトの充填不足が考えられる。そのため、詳細点検診断として PC グラウトの充填状況の調査を実施し、PC グラウトが充填されていれば、上面防水により水の浸透防止対策を行う。一方、PC グラウトの充填不足が確認された場合は、PC グラウトの再注入を行う。なお、PC 鋼棒の場合は破断して突出する可能性が考えられるため、地覆部の断面修復や連続繊維補強シートなどによる突出防止対策を併用する。
- 間詰め位置に沿った舗装面のひび割れが認められ、区分Ⅳと判定される場合は、横締め PC 鋼材の腐食などの原因により隣接するプレキャスト PC 桁同士が一体として挙動しないため、PC 栈橋上部工としての耐荷力の観点から最も危険な状態になっている可能性がある。このような場合には、1 ブロック単位での上部工の取替えなどを検討する必要がある。ここで、人命に関わる重大な事故につながる可能性がある場合には、補修対策を講じる前に直ちに通行止めや荷重制限などの措置を検討した方がよい。

なお、以降に表-6.1～6.4 PC 栈橋上部工での劣化度 a 判定における性能判断の区分別（区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ）の補修工法選定シート（案）を主桁本体、間詰め部・横締め部に分類して示す。この選定シートは、変状パターン・外観目視状況、性能判断の区分、劣化機構・劣化要因、補修工法を選定する上での留意点、標準的な補修工法を示している。また、各補修工法の適用に当たっての留意点は、第 7 章「補修」を参照するものとする。

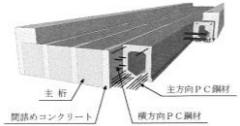
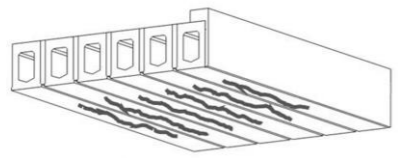
部位・部材毎の工法の選定を行った後は、補修工事を予定する期間の施設の利用状況、仮設設備の規模、施工時期・施工可能時間といった施工の効率性などを考慮して、部材毎に適用する工法の合理的な割当て（見直し）を検討する。なお、PC 栈橋上部工は、並列架設されたプレキャスト PC 部材を一体化した版構造であるため、予防保全の観点から 1 ブロックの全部材の中で最も補修・補強効果の高い同一の工法をブロック内の全部材に割り当てるのが望ましい。しかしながら、施設の利用状況や経済性の面からこの対応が難しいこともある。このような場合には、RC 栈橋上部工と同様の手順により、施工の効率性や補修コストなどの面で有利となる合理的な工法の割当てを行う。ただし、電気防食工法を表面被覆工法に変更するなど、補修効果が期待できない工法への見直しは行ってはならない。


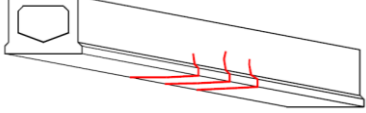
部材毎の工法の割当てに対する検討が終了した後は、各工法の概略コストを設定して補修コストを検討し、部材毎に適用する工法とその範囲（数量）および実施時期を決定する。なお、補修コストが想定予算を大幅に上回る場合や補修設計時から工事の実施が大幅に遅れる場合には、補修シナリオを再検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) (一財)沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，平成 30 年 7 月
- 2) (公社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成 30 年 5 月

表-6.1 PC 栈橋上部工での劣化度 a 判定にける性能判断の区分別 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) の補修工法 選定シート (案)

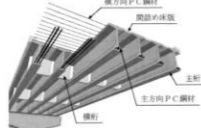
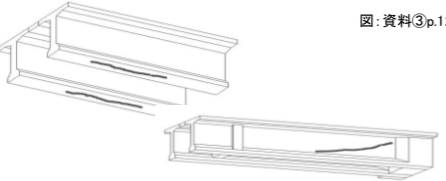





代表的な桁パターン [ホロー桁：主桁本体]	 図：資料④p.31	変状パターン・外観目視状況	調査結果からの推定された劣化機構・劣化要因	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル(低, 中, 高)	補修工法を選定する上での留意点	標準的な補修工法 ( )書きは、併用する工法	
【1. 部材軸方向のひび割れ】 図：資料③p.12  写真：資料①p.177 写真：資料①p.177 写真：資料①p.177		区分Ⅱ ・部材軸方向のひび割れから、水しみやエフロレッセンスが見られるが錆汁は見られない。	塩害	<b>区分Ⅱ</b> (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。	・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m <sup>3</sup> )を超えない。 ・供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。	・上面防水工、桁の水抜き ・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法) ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)	
		区分Ⅲ ・部材軸方向のひび割れから水しみやエフロレッセンスが見られ、軽微な錆汁の析出が確認できる。		<b>区分Ⅲ</b> (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。	・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 ・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m <sup>3</sup> )を超えない。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 ・供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。あるいは、PC鋼材の腐食が懸念されるが、PC鋼材は破断していない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。	・上面防水工、桁の水抜き ・表面被覆工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)	
		区分Ⅳ ・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。		<b>区分Ⅳ</b> (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。	・詳細点検診断にて、PC鋼材は破断していない。あるいは、PC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。	・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法) ・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・取替え工法(ブロック単位での取替えなど) ・更新(上部工全体)	
		区分Ⅱ 上記区分を参照		<b>区分Ⅱ</b> ・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が緩やかである。 ・黄色、アルカリシリカゲルの滲出が見られるが、鋼材腐食による錆汁は見られない。 ・基本的には、目視による経過観察やひび割れ幅のモニタリング等を実施し、対策の要否を判定する。	・水処理工法：排水処理、止水処理→上面防水工、桁の水抜き ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)		
		区分Ⅲ 上記区分を参照	<b>区分Ⅲ</b> ・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が見られ、ASRIによる膨張が顕著である。 ・鋼材腐食による錆汁が見られるが、部材の耐荷力には影響を及ぼしていない。	・水処理工法：排水処理、止水処理→上面防水工、桁の水抜き ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)			
		区分Ⅳ 上記区分を参照	<b>区分Ⅳ</b> ・ひび割れの幅や密度が増大し、段差、ずれやかぶりの部分的な浮き・剥落が見られる。 ・鋼材腐食が進行し、鋼材の降伏や破断が発生し、部材の耐荷力に影響を及ぼしている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。	・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・取替え工法(ブロック単位での取替えなど) ・更新(上部工全体)			
		【2. 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁底面・側面に発生) 図：資料⑤p.37~38 区分Ⅱ ・部材軸直角方向のひび割れから、軽微な錆汁が見られるが、コンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)は見られない。		鉄筋のかぶり不足による塩害	<b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照	・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m <sup>3</sup> )を超えない。 ・供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。	・上面防水工、桁の水抜き ・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法) ・増厚工法 ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)
					<b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照	・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 ・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m <sup>3</sup> )を超えない。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 ・供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。あるいは、PC鋼材の腐食が懸念されるが、PC鋼材は破断していない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。	・上面防水工、桁の水抜き ・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。) ・増厚工法 ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)
					<b>区分Ⅳ</b> 上記区分を参照	・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。また、内部PC鋼材の腐食が生じていないことを確認する。 (※初期欠陥の事例) 主桁下フランジ部の内側に、ホロー桁製作時のコンクリート充填不良による内部欠陥(空洞)が生じていた事例 ・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 ・内部PC鋼材の腐食状態を確認する。 ・場合によっては、供用停止や更新を検討する。	・内部PC鋼材の防錆処理 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 (水処理工法：排水処理、止水処理→上面防水工、桁の水抜き) ・内部PC鋼材の防錆処理 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 ・更新(上部工全体)



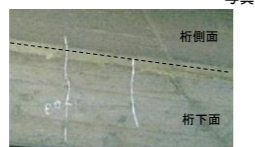
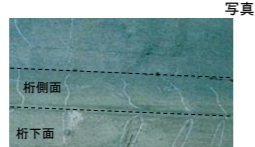
<p>【2. 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁底面・側面に発生)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">区分Ⅲ</div> <div style="text-align: center;">  <p>写真: 資料②p.61</p> </div> </div> <p>・部材軸直角方向に大きなひび割れや錆汁が見られ、部分的なコンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)が認められる。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">区分Ⅳ</div> </div> <p>・鉄筋の著しい腐食や破断、コンクリートの浮き・剥落が発生している。</p>	<p>鉄筋のかぶり不足による塩害</p>	<p>区分Ⅳ 下記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・詳細点検診断にて、PC鋼材は破断していない。あるいは、PC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。</li> <li>・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</li> <li>・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</li> </ul>
<p>【3. 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">区分Ⅱ</div> <div style="text-align: center;">  <p>図: 作成</p> </div> </div> <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあるが錆汁は見られない。(PC鋼材は腐食していないと想定)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">区分Ⅲ</div> </div> <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあり、ひび割れから錆汁が確認できる。(PC鋼材の腐食が懸念されると想定)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">区分Ⅳ</div> </div> <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>	<p>初期欠陥</p>	<p>区分Ⅱ 下記区分を参照</p> <p>区分Ⅲ 下記区分を参照</p> <p>区分Ⅳ 下記区分を参照</p>	<p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。また、内部PC鋼材の腐食が生じていないことを確認する。 (※初期欠陥の事例) 主桁下フランジ部の内側に、ホロー桁製作時のコンクリート充填不良による内部欠陥(空洞)が生じていた事例</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 内部PC鋼材の腐食状態を確認する。</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 内部PC鋼材の腐食状態、破断の有無を確認する。 場合によっては、供用停止や更新を検討する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がC<sub>lim</sub>(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がC<sub>lim</sub>を超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はC<sub>lim</sub>を超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がC<sub>lim</sub>を超える。 (必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がC<sub>lim</sub>(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がC<sub>lim</sub>を超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はC<sub>lim</sub>を超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食が懸念されるが、PC鋼材は破断していない。 表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がC<sub>lim</sub>を超える。 (必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用している可能性が高い。 詳細点検診断にて、PC鋼材は破断していない。あるいは、PC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。 (必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用している可能性が高い。 詳細点検診断にて、PC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。 耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理工法: 排水処理、止水処理→上面防水工、桁の水抜き</li> <li>・表面処理工法: 表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内部PC鋼材の防錆処理</li> <li>・表面処理工法: 表面被覆工法、表面含浸工法</li> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・断面修復工法 (水処理工法: 排水処理、止水処理→上面防水工、桁の水抜き)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内部PC鋼材の防錆処理</li> <li>・表面処理工法: 表面被覆工法、表面含浸工法</li> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・更新(上部工全体)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上面防水工、桁の水抜き (劣化因子の浸透防止で、ひび割れ補修工法の実施もある。)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・断面修復工法</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上面防水工、桁の水抜き</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・断面修復工法</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・取替え工法(ブロック単位での取替えなど)</li> <li>・更新(上部工全体)</li> </ul>

資料①: PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月

資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—

表-6.2 PC 栈橋上部工での劣化度 a 判定にける性能判断の区分別 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) の補修工法 選定シート (案)

代表的な桁パターン [ T 桁 : 主桁本体 ]	 <small>図: 資料④p.31</small>	変状パターン・外観目視状況	調査結果からの推定された劣化機構・劣化要因	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル (低, 中, 高)	補修工法を選定する上での留意点	標準的な補修工法 ( ) 書きは、併用する工法
<p><b>【1. 部材軸方向のひび割れ】</b></p> <p><small>図: 資料③p.12, 19</small></p>  <p><b>区分Ⅱ</b> <small>写真: 資料④p.48</small></p>  <p>・部材軸方向のひび割れから、水しみやエフロッセンスが見られるが錆汁は見られない。</p> <p><b>区分Ⅲ</b> <small>写真: 資料①p.176</small></p>  <p>・部材軸方向のひび割れから水しみやエフロッセンスが見られ、軽微な錆汁の析出が確認できる。</p> <p><b>区分Ⅳ</b> <small>写真: 資料①p.176</small></p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>	<p><b>塩害</b></p> <p><b>ASR</b></p> <p><b>初期欠陥</b></p>	<p><b>区分Ⅱ</b> (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p> <p><b>区分Ⅲ</b> (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p> <p><b>区分Ⅳ</b> (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p> <p><b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照</p> <p><b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照</p> <p><b>区分Ⅳ</b> 上記区分を参照</p> <p><b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照</p> <p><b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照</p> <p><b>区分Ⅳ</b> 上記区分を参照</p>	<p>・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</p> <p>・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。</p> <p>・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</p> <p>・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。</p> <p>・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。</p> <p>・供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。あるいは、PC鋼材の腐食が懸念されるが、PC鋼材は破断していない。</p> <p>・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。</p> <p>・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</p> <p>・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材は破断していない。あるいは、PC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。</p> <p>・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</p> <p>・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。</p> <p>・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。</p> <p>・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</p> <p>・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が緩やかである。</p> <p>・黄色、アルカリシリカゲルの滲出が見られるが、鋼材腐食による錆汁は見られない。</p> <p>・基本的には、目視による経過観察やひび割れ幅のモニタリング等を実施し、対策の要否を判定する。</p> <p>・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が見られ、ASRIによる膨張が顕著である。</p> <p>・鋼材腐食による錆汁が見られるが、部材の耐荷力には影響を及ぼしていない。</p> <p>・ひび割れの幅や密度が増大し、段差、ずれやかぶりの部分的な浮き・剥落が見られる。</p> <p>・鋼材腐食が進行し、鋼材の陥伏や破断が発生し、部材の耐荷力に影響を及ぼしている。</p> <p>・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。</p> <p>・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。また、内部PC鋼材の腐食が生じていないことを確認する。 (※初期欠陥の事例) 主桁下フランジ部の内側に、ホロー桁製作時のコンクリート充填不良による内部欠陥(空洞)が生じていた事例</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。</p> <p>・内部PC鋼材の腐食状態を確認する。</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。</p> <p>・内部PC鋼材の腐食状態、破断の有無を確認する。</p> <p>・場合によっては、供用停止や更新を検討する。</p>	<p>・上面防水工</p> <p>・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・上面防水工</p> <p>・表面被覆工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・外ケーブル工法 ・取替え工法(ブロック単位での取替えなど) ・更新(上部工全体)</p> <p>・水処理工法:排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・水処理工法:排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・外ケーブル工法 ・取替え工法(ブロック単位での取替えなど) ・更新(上部工全体)</p> <p>・水処理工法:排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・内部PC鋼材の防錆処理 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 (水処理工法:排水処理、止水処理 → 上面防水工)</p> <p>・内部PC鋼材の防錆処理 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 ・更新(上部工全体)</p>		
<p><b>【2. 部材軸直角方向のひび割れ】</b> (かぶり不足などが要因で主桁側面及び底面に発生)</p> <p><small>図: 資料⑤p.37</small></p>  <p><b>区分Ⅱ</b> <small>写真: 資料①p.174</small></p>  <p>・部材軸直角方向のひび割れから、軽微な錆汁が見られるが、コンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)は見られない。</p>	<p><b>鉄筋のかぶり不足による塩害</b></p>	<p><b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照</p> <p><b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照</p>	<p>・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</p> <p>・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。</p> <p>・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</p> <p>・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。</p> <p>・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。</p> <p>・供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。あるいは、PC鋼材の腐食が懸念されるが、PC鋼材は破断していない。</p> <p>・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。</p> <p>・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</p> <p>・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p>	<p>・上面防水工</p> <p>・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・増厚工法 ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・上面防水工</p> <p>・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・増厚工法 ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p>		

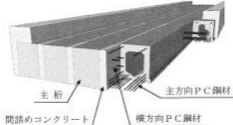
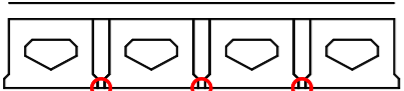
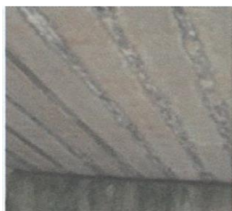


<p>【2. 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁側面及び底面に発生)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>区分III</p>  <p>写真: 資料①p.174</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>区分IV</p>  <p>写真: 資料①p.174</p> </div> </div> <p>・部材軸直角方向に大きなひび割れや錆汁が見られ、部分的なコンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)が認められる。</p> <p>・鉄筋の腐食が著しく、コンクリートの剥離によりPC鋼材が露出している。</p>	<p>鉄筋のかぶり不足による塩害</p> <p>初期欠陥</p>	<p>区分IV 下記区分を参照</p> <p>区分II 下記区分を参照</p> <p>区分III 下記区分を参照</p> <p>区分IV 下記区分を参照</p>	<p>・詳細点検診断にて、PC鋼材は破断していない。あるいは、PC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・詳細点検診断にて、PC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるかを判断する。</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。また、内部PC鋼材の腐食が生じていないことを確認する。 (※初期欠陥の事例) 主桁下フランジ部の内側に、ホロー桁製作時のコンクリート充填不良による内部欠陥(空洞)が生じていた事例</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 ・内部PC鋼材の腐食状態を確認する。</p> <p>・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 ・内部PC鋼材の腐食状態、破断の有無を確認する。 ・場合によっては、供用停止や更新を検討する。</p>	<p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・外ケーブル工法 ・取替え工法(ブロック単位などの取替え) ・更新(上部工全体)</p> <p>・水処理工法:排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・内部PC鋼材の防錆処理 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 (水処理工法:排水処理、止水処理 → 上面防水工)</p> <p>・内部PC鋼材の防錆処理 ・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 ・外ケーブル工法 ・更新(上部工全体)</p>
<p>【3. 曲げひび割れ】 (耐力不足などが要因で支間中央部の主桁底面に発生)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>区分II</p>  <p>写真: 資料⑥p.192</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>区分III</p>  <p>写真: 資料⑥p.201</p> </div> </div> <p>図: 作成</p> <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあるが錆汁は見られない。(PC鋼材は腐食していないと想定)</p> <p>・部材底面に部材軸直角方向のひび割れがあり、ひび割れから錆汁が確認できる。(PC鋼材の腐食が懸念されると想定)</p> <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。また、部材側面にひび割れが伸びている。(PC鋼材が腐食していると想定)</p>	<p>設計以上の上載荷重</p>	<p>区分II (参考) 劣化の作用は認められるもの。まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、そのまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p> <p>区分III (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、そのまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p> <p>区分IV (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、そのまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 ・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 ・供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 ・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、PC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材の腐食は懸念されない。 ・供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用していない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、鋼材(スターラップ)位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用している可能性が高い。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材は破断していない。あるいは、PC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>・設計図書や実際の使用状況を確認し、設計荷重以上の外力が作用している可能性が高い。 ・詳細点検診断にて、PC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるかを判断する。</p>	<p>・上面防水工 (劣化因子の浸透防止で、ひび割れ補修工法の実施もある。)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・上面防水工</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・外ケーブル工法 ・取替え工法(ブロック単位での取替えなど) ・更新(上部工全体)</p>

資料①: PC構造物の維持保全 2015年版. プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領, 国土交通省 道路局 国道・防災課, 平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術, プレストレストコンクリート工学会, 2021年1月

資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—



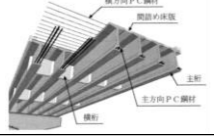
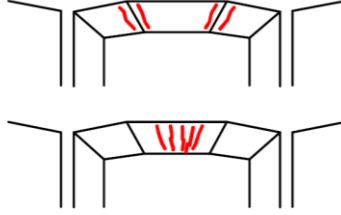




表-6.3 PC 栈橋上部工での劣化度 a 判定にける性能判断の区分別 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) の補修工法 選定シート (案)

代表的な桁パターン [ホロー桁：間詰め部・横締め部]	 <small>図. 資料④p.31</small>	変状パターン・外観目視状況	調査結果からの推定された劣化機構・劣化要因	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル(低, 中, 高)	補修工法を選定する上での留意点	標準的な補修工法 ( )書きは、併用する工法
<p>【1. 間詰め部の漏水】</p> <p>図：作成</p>  <p>写真：資料①p.162</p>  <p>・間詰め部から、漏水(水しみ)が生じているが、錆汁は見られない。</p> <p>写真：資料①p.162</p>  <p>・間詰め部から、漏水(水しみ)が生じており、錆汁や局所的なひび割れ、剥離などが認められる。</p> <p>写真：資料①p.162</p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>		<p>上面(凍結防止剤)や下面(海水)からの塩分の浸入</p>	<p><b>区分Ⅱ</b> (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</li> <li>供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</li> <li>表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。</li> <li>(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</li> <li>断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上面防水工</li> <li>・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul>	
			<p><b>区分Ⅲ</b> (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>詳細点検診断にて、横締めPC鋼材の腐食は懸念されない。</li> <li>塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。</li> <li>詳細点検診断にて、横締めPC鋼材の腐食は懸念されない。</li> <li>供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。</li> <li>詳細点検診断にて、横締めPC鋼材の腐食は懸念されない。あるいは、横締めPC鋼材の腐食が懸念されるが破断していない。</li> <li>表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。</li> <li>(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</li> <li>断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上面防水工</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・突出防止対策</li> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul>	
			<p><b>区分Ⅳ</b> (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>詳細点検診断にて、横締めPC鋼材は破断していない。あるいは、横締めPC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。</li> <li>(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。</li> <li>断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</li> <li>詳細点検診断にて、横締めPC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。</li> <li>耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。</li> <li>大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気防食工法</li> <li>・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・更新(上部工全体)</li> </ul>	
			<p>上面からの漏水</p>	<p><b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が緩やかである。</li> <li>変色、エフロレッセンスの滲出が見られるが、鋼材腐食による錆汁は見られない。</li> <li>→基本的には、目視による経過観察やひび割れ幅のモニタリング等を実施し、対策の要否を判定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理工法:排水処理、止水処理 →上面防水工</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul>
			<p><b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が見られる。</li> <li>鋼材腐食による錆汁が見られるが、横締めPC鋼材の耐荷力には影響を及ぼしていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理工法:排水処理、止水処理 →上面防水工</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</li> </ul>	
			<p><b>区分Ⅳ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れの幅や密度が増大し、段差、ずれやかぶりの部分的な浮き・剥落が見られる。</li> <li>鋼材腐食が進行し、鋼材の降伏や破断が発生し、横締めPC鋼材の耐荷力に影響を及ぼしている。</li> <li>耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。</li> <li>大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・更新(上部工全体)</li> </ul>	
			<p>ASR</p>	<p><b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が緩やかである。</li> <li>変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られるが、鋼材腐食による錆汁は見られない。</li> <li>→基本的には、目視による経過観察やひび割れ幅のモニタリング等を実施し、対策の要否を判定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理工法:排水処理、止水処理 →上面防水工</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul>
			<p><b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が見られ、ASRIによる膨張が顕著である。</li> <li>鋼材腐食による錆汁が見られるが、横締めPC鋼材の耐荷力には影響を及ぼしていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理工法:排水処理、止水処理 →上面防水工</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</li> </ul>	
			<p><b>区分Ⅳ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ひび割れの幅や密度が増大し、段差、ずれやかぶりの部分的な浮き・剥落が見られる。</li> <li>鋼材腐食が進行し、鋼材の降伏や破断が発生し、横締めPC鋼材の耐荷力に影響を及ぼしている。</li> <li>耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。</li> <li>大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・表面被覆工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・更新(上部工全体)</li> </ul>	
			<p>初期欠陥 PCグラウトの充填不足</p>	<p><b>区分Ⅱ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。また、内部PC鋼材の腐食が生じていないことを確認する。</li> <li>(※初期欠陥の事例) 主桁下フランジ部の内側に、ホロー桁製作時のコンクリート充填不良による内部欠陥(空洞)が生じていた事例</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水処理工法:排水処理、止水処理 →上面防水工</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</li> </ul>
			<p><b>区分Ⅲ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。</li> <li>横締めPC鋼材の腐食状態を確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内部PC鋼材の防錆処理</li> <li>・PCグラウト再注入工法</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法</li> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・断面修復工法 (水処理工法:排水処理、止水処理 →上面防水工)</li> </ul>	
			<p><b>区分Ⅳ</b> 上記区分を参照</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滞水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。</li> <li>横締めPC鋼材の腐食状態、破断の有無を確認する。</li> <li>場合によっては、供用停止や更新を検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内部PC鋼材の防錆処理</li> <li>・PCグラウト再注入工法</li> <li>・表面処理工法:表面被覆工法、表面含浸工法</li> <li>・ひび割れ補修工法</li> <li>・断面修復工法</li> <li>・更新(上部工全体)</li> </ul>	

資料①: PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
 資料②: 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—  
 資料③: 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
 資料④: コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月

資料⑤: 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
 資料⑥: 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料—橋梁損傷事例写真集—

表-6.4 PC 栈橋上部工での劣化度 a 判定にける性能判断の区分別 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) の補修工法 選定シート (案)

代表的な桁パターン [ T 桁：間詰め部・横締め部 ]		変状パターン・外観目視状況	調査結果からの推定された劣化機構・劣化要因	性能判断の区分 (区分Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ) 損傷レベル (低, 中, 高)	補修工法を選定する上での留意点	標準的な補修工法 ( ) 書きは、併用する工法
<p>【1. 間詰め部の漏水】</p>  <p>図：資料⑤p.40</p>  <p>図：資料⑤p.40</p> <p>写真：資料①p.161</p>  <p>・間詰め部から、漏水(水しみ)が生じているが、錆汁は見られない。</p> <p>写真：資料①p.161</p>  <p>・間詰め部から、漏水(水しみ)が生じており、錆汁や局部的なひび割れ、剥離などが認められる。</p> <p>写真：資料①p.161</p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>		<p>区分Ⅱ (参考) 劣化の作用は認められるものの、まだ耐久性や耐荷性(構造安全性)はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐久性の低下が懸念される場合があるもの。</p> <p>区分Ⅲ (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p> <p>区分Ⅳ (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<p>区分Ⅱ ・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。 ・供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>区分Ⅲ ・詳細点検診断にて、横締めPC鋼材の腐食は懸念されない。 ・塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClim(港湾基準では2.0kg/m<sup>3</sup>)を超えない。 ・詳細点検診断にて、横締めPC鋼材の腐食は懸念されない。 ・供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超えるが、表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測では、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度はClimを超えない。 ・詳細点検診断にて、横締めPC鋼材の腐食は懸念されない。あるいは、横締めPC鋼材の腐食が懸念されるが破断していない。 ・表面被覆後の塩化物イオンの拡散予測を行い、供用期間中に、横締めPC鋼材位置における塩化物イオン濃度がClimを超える。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。</p> <p>区分Ⅳ ・詳細点検診断にて、横締めPC鋼材は破断していない。あるいは、横締めPC鋼材は破断しているが、耐力不足には至っていない。 ・(必要に応じて)ASRIに関する調査を行う。 ・断面修復工法を併用する場合は、断面修復材や母材コンクリートの電気抵抗率を確認する。 ・詳細点検診断にて、横締めPC鋼材が破断しており、耐力不足が生じている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</p>	<p>・上面防水工</p> <p>・表面被覆工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・上面防水工</p> <p>・表面被覆工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法</p> <p>・突出防止対策 ・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・電気防食工法 ・電気化学的防食工法[埋設型の犠牲陽極材] (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・更新(上部工全体)</p>		
		<p>区分Ⅱ 上記区分を参照</p> <p>区分Ⅲ 上記区分を参照</p> <p>区分Ⅳ 上記区分を参照</p>	<p>区分Ⅱ ・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が緩やかである。 ・変色、エフロレッセンスの滲出が見られるが、鋼材腐食による錆汁は見られない。 →基本的には、目視による経過観察やひび割れ幅のモニタリング等を実施し、対策の可否を判定する。</p> <p>区分Ⅲ ・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が見られる。 ・鋼材腐食による錆汁が見られるが、横締めPC鋼材の耐荷力には影響を及ぼしていない。</p> <p>区分Ⅳ ・ひび割れの幅や密度が増大し、段差、ずれやかぶりの部分的な浮き・剥落が見られる。 ・鋼材腐食が進行し、鋼材の降伏や破断が発生し、横締めPC鋼材の耐荷力に影響を及ぼしている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</p>	<p>・水処理工法：排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・水処理工法：排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・更新(上部工全体)</p>		
		<p>区分Ⅱ 上記区分を参照</p> <p>区分Ⅲ 上記区分を参照</p> <p>区分Ⅳ 上記区分を参照</p>	<p>区分Ⅱ ・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が緩やかである。 ・変色、アルカリシリカゲルの滲出が見られるが、鋼材腐食による錆汁は見られない。 →基本的には、目視による経過観察やひび割れ幅のモニタリング等を実施し、対策の可否を判定する。</p> <p>区分Ⅲ ・ひび割れ(幅、深さ、延長)の進展が見られ、ASRIによる膨張が顕著である。 ・鋼材腐食による錆汁が見られるが、横締めPC鋼材の耐荷力には影響を及ぼしていない。</p> <p>区分Ⅳ ・ひび割れの幅や密度が増大し、段差、ずれやかぶりの部分的な浮き・剥落が見られる。 ・鋼材腐食が進行し、鋼材の降伏や破断が発生し、横締めPC鋼材の耐荷力に影響を及ぼしている。 ・耐力の低下度合いに応じた補修方法を選定する。 ・大規模な取替えが有利であるのかを判断する。</p>	<p>・水処理工法：排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・水処理：排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法の併用もある。)</p> <p>・ひび割れ補修工法 ・表面被覆工法 ・断面修復工法 ・更新(上部工全体)</p>		
		<p>区分Ⅱ 上記区分を参照</p> <p>区分Ⅲ 上記区分を参照</p> <p>区分Ⅳ 上記区分を参照</p>	<p>区分Ⅱ ・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滯水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。また、内部PC鋼材の腐食が生じていないことを確認する。 (※初期欠陥の事例) 主桁下フランジ部の内側に、ホロー桁製作時のコンクリート充填不良による内部欠陥(空洞)が生じていた事例</p> <p>区分Ⅲ ・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滯水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 ・横締めPC鋼材の腐食状態を確認する。</p> <p>区分Ⅳ ・初期欠陥であるひび割れ、浮き、豆板、空洞、滯水・漏水などの変状の範囲、劣化因子の侵入状況を確認し、補修工法を選定する必要がある。 ・横締めPC鋼材の腐食状態、破断の有無を確認する。 ・場合によっては、供用停止や更新を検討する。</p>	<p>・水処理工法：排水処理、止水処理 → 上面防水工 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 (ひび割れ補修工法、断面修復工法)</p> <p>・内部PC鋼材の防錆処理 ・PCグラウト再注入工法 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 (水処理工法：排水処理、止水処理 → 上面防水工)</p> <p>・内部PC鋼材の防錆処理 ・PCグラウト再注入工法 ・表面処理工法：表面被覆工法、表面含浸工法 ・ひび割れ補修工法 ・断面修復工法 ・更新(上部工全体)</p>		

資料①： PC構造物の維持保全 2015年版、プレストレスト・コンクリート建設業協会  
資料②： 国総研資料第196号 道路橋の定期点検に関する参考資料－橋梁損傷事例写真集－  
資料③： 橋梁定期点検要領、国土交通省 道路局 国道・防災課、平成26年6月  
資料④： コンクリート構造診断技術、プレストレストコンクリート工学会、2021年1月

資料⑤： 国総研資料第1046号 プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書(その2)  
資料⑥： 国総研資料第748号 道路橋の定期点検に関する参考資料－橋梁損傷事例写真集－

## 7. 補修

### 7.1 一般

7章補修および後述の8章補強については、港湾コンクリート構造物補修マニュアル（以下、補修マニュアルと称す）<sup>1)</sup>の第1章総則の以下の文章に基づいて区分し記載した。

「変状により性能が低下したコンクリート部材の力学的性能又は耐久性、あるいは両者を、当初の水準を超えないレベルまでに回復させる行為、あるいは、当初保有していた水準を超える耐久性を付与する行為を“部材の補修”，コンクリート部材が当初に保有していた水準を超える力学的性能を付与する行為を“部材の補強”」

本章では、上記のうち代表的な“部材の補修”について、8章では代表的な“部材の補強”について、なるべくPC栈橋に特化して記載する。

PC栈橋上部工の補修については、実績は非常に少ないながら、RC栈橋上部工において標準的に適用される表面被覆工法、断面修復工法や電気防食工法などが適用されており、効果や耐用期間、施工方法や材料の仕様は、ほとんど変わらないものと考えられる。そのため、RC栈橋上部工における補修工法の知見を参考にすることができる。

ただし、RC栈橋の各部材に適用する補修工法は、PC構造の特徴を十分に理解したうえで選定し、設計・施工しなければならない。例えばコンクリート断面にプレストレスが導入されているため、断面修復工法においてコンクリートを大きくはつり取ることが難しい。したがって、これらの部材・部位に対しては、コンクリートを大きくはつり取らなくても高い効果が得られる工法（変状の程度に応じて、電気防食工法など）、劣化が著しい場合には1ブロック単位での取替えを選定するのが一般的である。

なお、本手引き（案）では、補修マニュアル<sup>1)</sup>の選定フローに追記した形式で、一般定期点検診断の結果に基づいた補修・補強工法の選定フローを6章の図-6.1.1に示しており、本章に記載されている工法の選定について標準を示している。

また、PC栈橋上部工を支持する受け梁については、RC構造であるのでRC栈橋上部工と同様に取り扱う。

### 7.2 ひび割れ補修工法

ひび割れ補修工法は、温度応力ひび割れや乾燥収縮ひび割れなどの初期ひび割れに対して、防水性や耐久性もしくはコンクリートの一体性を回復させる目的で適用される補修工法である。塩害などの内部鋼材の腐食に起因するひび割れに対しては、断面修復などにより劣化因子を取り除く、または電気防食工法などにより腐食反応を抑制する必要がある。このため、腐食ひび割れに対しては、ひび割れ補修工法のみでの補修を適用してはならない。

ひび割れ補修工法には、ひび割れ被覆工法、注入工法および充填工法があり、ひび割れ幅の変動やひび割れ深さを考慮して選定することが必要である。これらの工法は、PC栈橋上部工の補修工事における実績は少ないが、RC栈橋上部工において標準的に適用されるひび割れ補修工法の効果や適用範囲、工法や材料の仕様とほとんど変わらないものと考えられる。このため、PC栈橋上部工のひび割れ補修工法の選定、設計および施工にあたっては、RC栈橋上部工の知見を参考にするとよい。以下に各工法における概要を示す。

#### ①ひび割れ被覆工法

ひび割れ被覆工法は、微細なひび割れ（幅0.2mm以下）の上に表面被覆材などを塗布し、防水性や耐久性を向上させる工法である。簡便な工法であり、注入工法が適用できない微細なひび割れに対して効果的な工法である。

ただし、ひび割れ部分のみを被覆する工法であるためひび割れ内部の補修はできないこと、開閉量が大きいまたは進行性のひび割れに対してはその動きに追従しにくいことなど機能（効果）は限定的であるため、ひび割れの傾向をよく把握し適用する必要がある。なお、ひび割れ被覆工法における適用条件、使用材料、施工手順などについては、表面被覆工法と共通するため、補修マニュアル<sup>1)</sup>のP30～P36に記載の表面被覆工法を参照されたい。

#### ②注入工法

注入工法は、ひび割れに樹脂系またはセメント系の材料を注入して、防水性や耐久性を向上させる工法である。特に注入材にエポキシ樹脂系接着剤を用いた場合には、接着性が良好であるため、ひび割れ箇所のコンクリートの一体化が期待できる工法である。一般には、ひび割れ幅が0.2mm～1.0mmの補修に採用される場合が多い。なお、注入工法における適用条件、使用材料、施工手順などについては、補修マニュアル<sup>1)</sup>P53～P56を参照されたい。

#### ③充填工法

充填工法は、ひび割れに沿ってU字形にカットした部分に補修材（シーリング材、ポリマーセメントモルタルなど）を充填し、防水性や耐久性を向上させる工法である。注入工法での補修が難しい比較的大きな幅のひび割れ（1.0mm以上）や鉄筋が腐食していない場合の補修に適した工法である。PC栈橋上部工で適用する際は、PC鋼材の位置を事前に確認し、コンクリートをカットする範囲を鉄筋かぶり内に収めるなど、PC鋼材に損傷を与えないよう配慮することが必要である。

### 7.3 断面修復工法

断面修復工法は、既存コンクリート構造物の変状が顕在化した部分、または、腐食発生限界塩化物イオン濃度を上回るような許容限度以上の劣化因子を含むコンクリート部分を除去した後断面修復材を用いて断面欠損部を供用開始時の性能および形状、寸法に戻す工法である。PC栈橋上部工の補修工事に断面修復工法を適用する際は、PC構造物特有の応力状態や挙動、主桁のたわみなどに配慮するとともに、補修の目的と構造物の要求性能を明確にしたうえで設計を行い、補修計画を立案する必要がある。補修設計では、補修範囲（はつり範囲）の設定、補強方法の検討、補修材料と工法などを考慮する。補修範囲（はつり範囲）については、施工時に部材の耐荷性能に深刻な影響を与えることがあるため、留意が必要である。特に、曲げモーメントが最も大きくなる支間中央付近やせん断力の作用が大きくなる支点部付近をはつる際は、施工前に安全性および部材の耐荷力が確保できるか検討を行う必要がある。

断面修復材の選定にあたっては、圧縮強度、引張強度、収縮ひずみなどの物理的性質を考慮し、補修をおこなった部材に求められる力学的性能に応じて設定することが必要である。

断面修復工法には、左官工法、吹付け工法、充填工法の3種類があり断面修復部の厚さや面積、部位などを考慮して適切に選定する。以下に各工法における概要を示す。

#### ①左官工法

左官工法は、型枠を設置せずにコテなどを使用して断面修復材を塗りつける施工方法である。小規模の補修や補修箇所が点在している場合に適用されることが多い。

#### ②吹付け工法

吹付け工法は、型枠を設置せずにモルタルやコンクリートを圧縮空気により吹き付ける施工方法であり、主に上向きや側面の修復に適用される。施工方法には乾式と湿式があり、施工条件や工法の特徴を考慮して選定する。比較的施工規模が大きい補修に適用される。

#### ③充填工法

充填工法は、型枠を設置して流動性の高いモルタルやコンクリートを型枠の中に流し込む施工方法である。間隙が小さい補修箇所に充填するため、補修材の流動性の管理が重要である。比較的小規模な補修から大規模な補修に適用される。

断面修復工法については、補修マニュアル<sup>1)</sup>のP36～P44に記載され、工法選定の留意点がP92～P94、設計の留意点がP99～P101、施工の留意点がP107～P108に記載されている。あわせて、プレストレスト・コンクリート構造物の補修の手引き（案）<sup>2)</sup> [断面修復工法] を参照されたい。

### 7.4 表面被覆工法

表面被覆工法は、コンクリート表面を被覆し、内部鋼材の腐食因子の侵入を低減する工法である。そのため、コンクリート内部に塩化物イオンが少量しか浸透していない時点（新設時含む）で適用する予防保全に対して非常に効果的である。

PC栈橋上部工の補修工事における表面被覆工法の実績は少ないが、RC栈橋上部工において標準的に適用される表面被覆工法の効果や耐用期間、工法や材料の仕様とほとんど変わらないものと考えられる。またRC栈橋上部工において、表面被覆工法は大気中部にある構造物に適用することが標準とされているが、PC栈橋上部工において部材の一部がH.W.L.以下に位置することはほとんどなく、大気中部にある構造物と言える。そのため、PC栈橋上部工の表面被覆工法の選定、設計および施工にあたっては、RC栈橋上部工の知見を参考にするとよい。RC栈橋上部工における表面被覆工法の概要については、補修マニュアル<sup>1)</sup>のP30～P36に記載され、工法選定の留意点がP90～P91、設計の留意点がP98～P99、および施工上の留意点がP106～P107に記載されている。

なお、本手引き（案）6章の図-6.1.1に、表面被覆工法が選定される場合について記載されている。例えば、変状が見受

けられない劣化度dであっても塩化物イオン濃度の調査結果から、供用期間中の鋼材位置における塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度を超えると予測されるときには、表面被覆工法の適用性を検討するのが良い。また一般定期点検診断により劣化度a区分Ⅱ（ひび割れはあるが錆汁なし）と判定されたときにおいても、詳細点検診断を行なって鋼材の腐食が確認されなかった場合には、塩化物イオン濃度の現状の調査結果と将来予測結果により表面被覆工法を適用できる可能性がある。

RC栈橋上部工では表面被覆工法の適用後に曲げなどによるひび割れの発生が懸念されるので、ひび割れ追従性に対する考慮は重要であるが、PC栈橋上部工ではひび割れを許容しないことが原則である。そのため、ひび割れ追従性についてはRC栈橋ほど重要視しなくて良いと考えられるが、塩害によりスターラップの腐食が生じるときなどで、ひび割れが進展する可能性が残る場合も考えられるので注意する必要がある。

## 7.5 電気化学的防食工法

電気化学的防食工法には、電気防食工法、脱塩工法、再アルカリ化工法、電着工法などがあるが、港湾コンクリート構造物で最も適用性の高い電気防食工法について示す。

電気防食工法は、外部から鋼材に防食電流を通電することで、電気化学的に鋼材の腐食反応を抑制する工法である。電気防食工法の特徴は、鋼材周囲のコンクリートに多量の塩化物イオンが含まれている場合でも高い防食効果を発揮することであり、特に補修後の供用期間が相当に長い場合に有効な工法である。

PC栈橋上部工の電気防食工法の実績は少ないが、RC栈橋上部工において標準的に適用される電気防食工法の効果や耐用期間、工法や材料の仕様とほとんど変わらないものと考えられる。そのため、PC栈橋上部工の電気防食工法の選定、設計および施工にあたっては、RC栈橋上部工の知見を参考にするとよい。RC栈橋上部工における電気防食工法の概要については、補修マニュアル<sup>リ</sup>のP44～P52に記載され、工法選定の留意点がP91～P92、設計の留意点がP99、および施工上の留意点がP107に記載されている。また、電気防食工法の方式やその他の詳細については、コンクリートライブラリー157 電気化学的防食工法指針<sup>リ</sup>（土木学会）を参照にするとよい。

電気防食の通電方法には外部電源方式および流電陽極方式があり、また陽極システムの形状により面状陽極方式、線状陽極方式および点状陽極方式に分類される<sup>リ</sup>。陽極システムの設置方法は各種方式<sup>リ</sup>に分類され、適用するときの環境条件（潮位条件など）、設計条件、および施工条件により適切な方式を選定する必要がある。特に電気防食を適用する部材が海面に近いと、荒天時に浮遊物等が陽極システムに衝突して破損に至る場合があるので、十分に検討する必要がある。また、方式によっては部材の含水率が高いと適用できないものもあるので注意を要する。

PC栈橋上部工に電気防食工法を適用するときには、以下の点に留意する必要がある。

### ①適用範囲

PC栈橋上部工において、主桁はプレテンション方式であるため電気防食工法を適用できるが、横締めはポストテンション方式であり、シース内部のPC鋼材の表面に防食電流が到達しないため防食対象にできない。

### ②水素脆化の防止

防食対象がPC構造物（部材）の場合、過防食や不均一な防食電流分布が生じて過剰な通電量になった場合には、PC鋼材の水素脆化が懸念されるため、水素が発生しないような鋼材電位にするための設計を行い、防食電流のモニタリングにおいても特に注意して管理を行う必要がある。参考文献<sup>リ</sup>では、電位変化量による通常の管理以外にPC鋼材のインスタントオフ電位も防食管理指標の項目とし、その水準は-1000 mV vs CSE（飽和硫酸銅電極）よりもプラス（貴）側の電位を保つこととしている。ただし、コンクリートの中性化がPC鋼材周辺まで進行している場合や、鋼材位置に達するひび割れが生じている場合、あるいは鋼材腐食が著しい場合は、鋼材のインスタントオフ電位を-800 mV vs CSEよりプラス（貴）側の電位に保持することが安全性確保の観点から重要としている。なお、モニタリング用の照合電極については、防食に必要な電流密度が最も大きくなると予想される箇所にも設置する必要がある。

### ③アルカリシリカ反応との複合劣化

アルカリシリカ反応（以下、ASR）が懸念される構造物への適用にあたっては、電気防食工法を適用することによってASRが助長される可能性があるため、ASRに配慮した電気化学的防食工法の適用に関するガイドライン（案）（日本材料学会）<sup>リ</sup>を参考にして、電気防食工法の適用の可否や実施方法を決定するのがよい。なお、参考文献<sup>リ</sup>は参考文

献<sup>3)</sup>の附属資料15として収録されている。

#### ④PC鋼材の導通に溶接を使用しない

PC鋼材の導通を確保するためにスポット溶接やアーク溶接を使用すると、加熱によってPC鋼材の破断が生じてしまう。そのため、PC鋼材の導通を確保するためには、ワイヤークランプ等の機械的方法でボンド処理を行う必要がある。

なお、犠牲陽極材をコンクリート中に埋設するタイプの流電陽極方式により鋼材の防食を図る方法がある。モルタルに包まれた亜鉛等の犠牲陽極材を鋼材の傍に設置し、亜鉛等と鉄のイオン化傾向の違いにより犠牲陽極材が先に錆びることで、コンクリート内部の鋼材腐食を抑制する。参考文献<sup>3)</sup>では指針の適用範囲とされていないが、地下鉄の塩害対策<sup>5)</sup>や局所的な変状が生じて部分的な断面修復を行ったときのマクロセル腐食対策として実績がある。定期的に防食状態を確認できないことや、犠牲陽極材の耐用年数は防食対象となる鋼材の腐食性や構造物の環境条件によって変化するものと考えられ、注意する必要がある。

## 7.6 その他

補修マニュアル<sup>1)</sup>には、栈橋上部工に対して一般的には適用されない上面防水や、RC栈橋上部工では適用されないPCグラウト再注工法に関して設計および施工の留意点が記載されている。

### 参考文献

- 1) (一財) 沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，平成30年7月
- 2) (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレスト・コンクリート構造物の補修の手引き（案）[断面修復工法] 平成21年9月
- 3) (公社) 土木学会：電気化学的防食工法指針，コンクリートライブラリー157，令和2年10月
- 4) (公社) 日本材料学会：ASRに配慮した電気化学的防食工法の適用に関するガイドライン(案)，平成19年11月
- 5) 武藤義彦，小西真治，河畑充弘，大即信明，岸利治，石田哲也：地下鉄箱型トンネルにおける塩害対策システムの構築，土木学会論文集E2（材料・コンクリート構造），Vol.74，No.4，pp275-292，平成30年

## 8. 補強

### 8.1 一般

本章では代表的な補強工法である外ケーブル工法と繊維補強工法の概要について示す。なお、本手引き（案）で対象とする補強は、「劣化により耐荷性能が建設時より小さくなった場合に、建設時に保有していた耐荷性能まで回復させる」場合を対象とし、「設計荷重が大きくなったなどの理由により、建設時に保有していた耐荷性能以上に向上させる」場合の補強は、本手引き（案）の対象外とする。

PC栈橋上部工は曲げ応力度に対する制限をフルプレストレスとすることが標準的である。そのため、PC鋼材の破断や断面欠損が認められ、プレストレスが減少することで制限値を満足しなくなった場合には、PC鋼材などによる補強を行い、プレストレスを回復する必要がある。

本章で示す2つの工法について、外ケーブル工法は、補修・補強ともに適用できるが、繊維補強工法は、プレストレスを回復させるものではなく、引張力を負担するものであり、その適用には供用状況を考慮し十分な検討を行って適用する必要がある。

### 8.2 外ケーブル工法

#### (1) 概要

外ケーブル工法は、外ケーブル方式の緊張材を既設構造物に追加設置し、定着装置あるいは偏向装置を介して部材にプレストレスを追加導入することにより、コンクリート部材の応力状態を改善し、耐荷力を回復する工法である。曲げおよびせん断補強を目的とする工法で、特徴は以下である。外ケーブル工法の概念図を図-8.1に、T桁橋への適用例を写真-8.1に、曲げに対する補強概念図を図-8.2に示す。

- ・ 補強効果を力学的に評価しやすい。
- ・ 偏向部をせん断補強部に設置し、緊張材の鉛直分力を考慮することにより、設計せん断力の一部を負担できる。
- ・ 補強部材の点検が行いやすく、また、緊張材の張力の計測やモニタリングが可能であり、維持管理が比較的行きやすい。
- ・ 上面の利用規制を必要とせず、供用しながらの施工が可能なことが多い。
- ・ 緊張材の取替えが可能である。
- ・ コンクリート自体の強度不足や劣化に対しては、補強効果を期待できない。
- ・ 部材剛性の向上は期待できず、輪荷重によるたわみを改善することはできない。

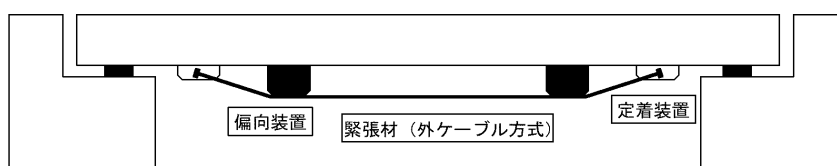


図-8.1 外ケーブル工法の概念図 1)の図解-3.12.1を改変



写真-8.1 外ケーブル工法のT桁橋への適用事例 2)の写真-2を一部抜粋

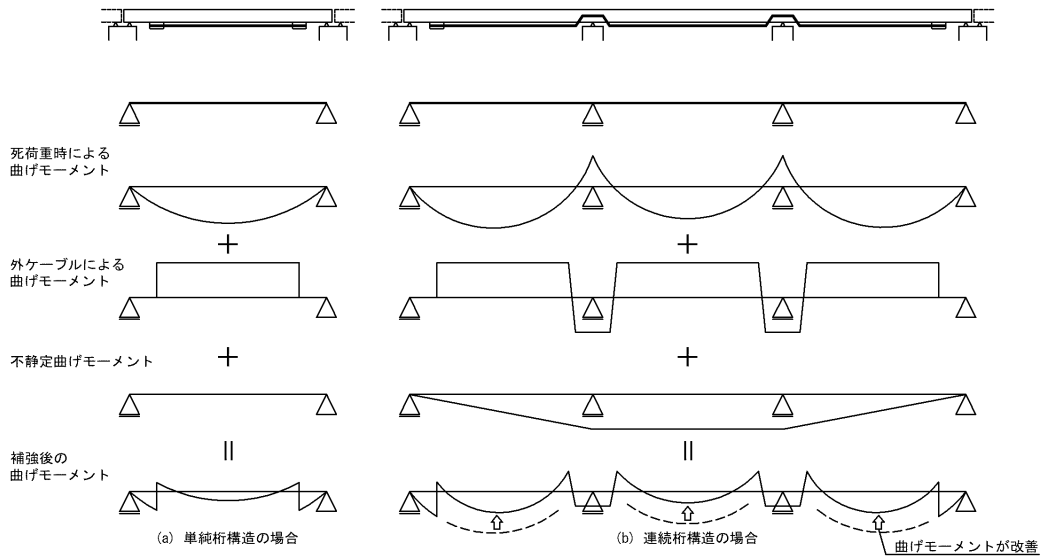


図-8.2 曲げに対する補強概念図 ③のP.4-71, 図 4-11-2 を一部改編

## (2) 適用条件

外ケーブル工法は、コンクリート部材の応力状態改善を目的として適用する工法であり、ASRによるコンクリートの強度低下やひび割れなどの劣化に対してコンクリートの補強や補修効果を期待するものではない。したがって、コンクリートの応力状態の改善以外の性能回復が必要な場合は、別途目的に応じた対策を併用する必要がある。

PC栈橋上部工の主桁部に対する外ケーブル工法の適用について、本手引き（案）作成時点において、T桁橋へ適用例はあるが、ホロー桁への適用例は少ない。そのため、適用にあたっては、使用材料面、設計面、施工面、維持管理性の面より、十分に検討を行う必要がある。

## (3) 使用材料

使用する緊張材、定着装置および偏向装置は、所定の性能を満足するものを用いる必要があり、耐久性（耐腐食性）に優れた材料でなければならない。PC栈橋上部工に対して補強のための緊張材を効率的に配置しようとするとき、これらの材料は飛沫滞りもしくは飛沫滞り近傍となる主桁下縁に配置することが多くなる。そのため、耐腐食性は対象栈橋の設置環境に配慮する必要がある。

なお、本手引き（案）の11章にPC構造物の高耐久化技術を紹介している。紹介している技術にはPC栈橋上部工の耐腐食性の対策として採用できる可能性のある技術もあるため、参考にするとよい。

### a) 緊張材

緊張材には、PC鋼線、PC鋼より線、PC鋼棒のいずれもが使用可能であるが、緊張材の耐久性を確保するため、緊張材はあらかじめ防錆材で被覆されたPC鋼材を使用することが望ましい。また、炭素繊維およびアラミド繊維などをプラスチックで成形した繊維強化プラスチック（FRP）が緊張材として用いられる場合もある。

これらの緊張材は、定着具と一体となったシステムとして仕様が決められていることが一般的であり、応力状態を改善するために必要なプレストレス量に応じてタイプを選定する。また、緊張材を緊張するためには、緊張ジャッキをセットして緊張するための作業空間が必要となるので、施工方法やそのための作業空間も考慮しておく必要がある。

### b) 定着装置

定着装置は、定着具を既設部材に固定するために取り付ける鋼製またはコンクリート製の構造部材であり、緊張材の緊張力を確実にコンクリート部材に伝達できる構造としなければならない。また、定着装置は耐腐食性、耐疲労性に優れた部材でなければならない。

### c) 偏向装置

偏向装置は、偏向具を既設部材に固定するために取り付ける鋼製またはコンクリート製の構造部材であり、緊張材による



偏向力を確実にコンクリート部材に伝達できる構造としなければならない。また、偏向装置は耐腐食性、耐疲労性に優れた部材でなければならない。

d) 緊結用緊張材

緊結用緊張材は、定着装置および偏向装置を既設部材に取り付けるための緊張材である。緊結用緊張材は耐腐食性に優れた部材でなければならない。

e) 防振装置

外ケーブルは有害な振動が生じないように配置しなければならないが、振動が懸念される場合には、対策として防振装置を設置する。

(4) 設計

設計手順を図-8.3に、設計における留意点を以下に示す。なお、詳細は「外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル（案）」<sup>4)</sup>を参考にするとよい。

a) 既設構造物の現状性能の把握

補強プレストレス量は目標性能と既設構造物の現状性能より決定する。既設構造物は、劣化により建設時の構造解析で示された応力状態から変化している可能性がある。既存プレストレスを過小評価した場合は、補強プレストレスの導入によって既設構造物への過大な圧縮応力の導入が懸念される。一方、既存プレストレスを過大評価した場合は補強不足になる。したがって、既存プレストレス量を調査し、その結果を用いて既設構造物の現状性能を推定し評価する必要がある。また、構造物の性能は劣化の進行により将来も変化する可能性にも留意する必要がある。

既存プレストレス量を調査する手法として、本手引き（案）4章 4.6 (8)にコア応力解放法を紹介しているため、参考にするとよい。

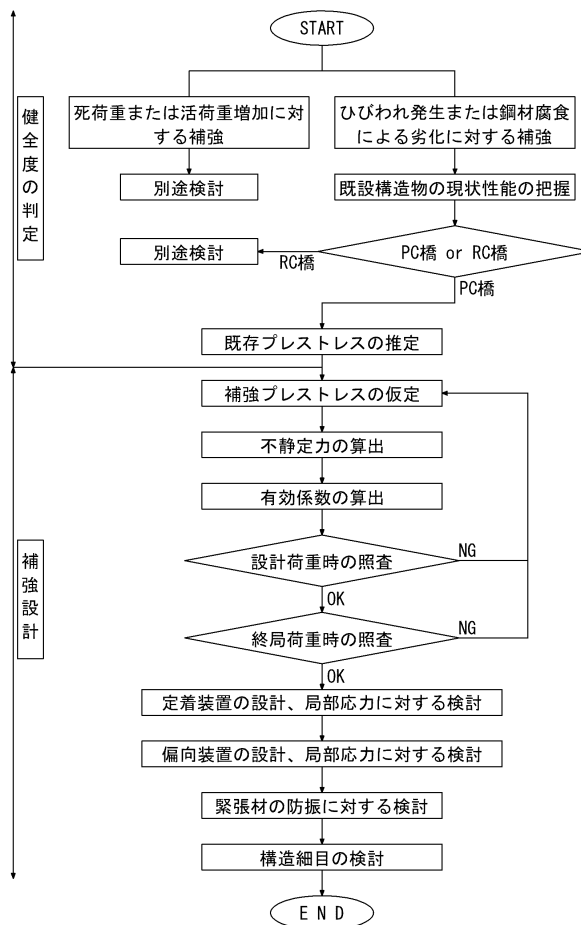


図-8.3 設計手順 <sup>4)</sup>の図.3.2.1を一部改変

b) プレストレス導入量の決定

緊張材1本の容量は、断面に無理なく配置可能な緊張材本数と、緊張材が定着・偏向される既設部材の耐荷性から決定する。補強プレストレス量は目標性能と既設構造物の現状性能より決定する。有効プレストレスの算出にあたっては、既設構造物の材齢を用いて、コンクリートのクリープ・乾燥収縮の影響を適切に考慮するものとする。なお、一般に外ケーブル方式の緊張材は内ケーブルより見かけのリラクゼーション率が大きくなることもあるため注意を要する。また、緊張順序、緊張方向を明確にし、設計に反映させる必要がある。図-8.4に応力度の概念図を示す。

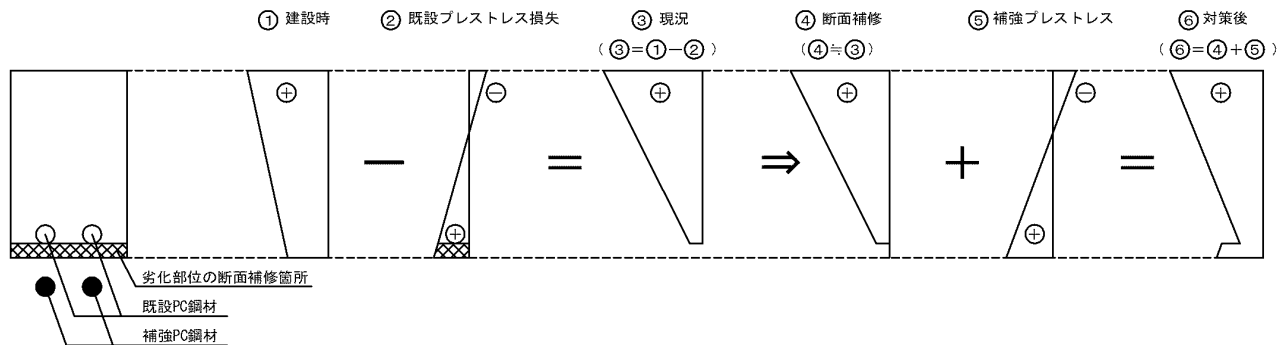


図-8.4 応力度の概念図 ③)のP.4-74, 図 4-11-3 を一部改編

c) 緊張材の配置

緊張材を非対称配置にした場合、導入するプレストレスにより悪影響が生じる可能性があるため、緊張材の配置は対称とすることが望ましい。

d) 既設構造物の局部応力に対する検討

定着装置および偏向装置の設置部近傍には補強プレストレスの導入に伴い局部応力が生じる。既設構造物はこれらの局部応力の発生を見込んで設計されていないことから、局部応力に対する既設構造物の照査を行う必要がある。また、定着装置・偏向装置の固定に多数の緊結用緊張材が必要な場合、これらの位置は既設PC鋼材が密に配置されている範囲や探査が困難な範囲は避けるべきである。

e) 外ケーブル方式の緊張材の防振

外ケーブル方式の緊張材の自由長部の振動数が既設構造物の振動数に近いと、通行車両などにより生じる既設構造物の振動により緊張材自身が振動し、繰返し曲げ応力が作用することが懸念される。そのため、外ケーブル方式の緊張材は有害な振動が生じないように適切な間隔に定着・偏向しなければならない。

共振の可能性がある場合には、適切な間隔に防振装置を設置して固定しなければならない。

(5) 施工

外ケーブル工法は、プレストレスの導入が特に重要であり、その施工方法や施工順序によっては、緊張材本数が同じでも部材に導入されるプレストレス量が異なることがある。施工にあたっては、補修設計で設定された性能が確実に発揮されるように、施工条件および自然環境条件などを考慮した施工計画を策定し、これに定められた施工順序に従うものとする。

また、既設部材の損傷程度、支承の劣化による移動の拘束状況などが、設計時に想定した状態と異なる場合もあるため、既設構造物を補修したあとに、外ケーブル工法を実施することとなる。外ケーブル工法の施工手順を図-8.5に示す。

a) 定着装置・偏向装置位置の測量

既設構造物の寸法は、施工誤差などにより設計図書と異なる場合があるので、あらかじめ実測して確認し、取付け位置をマーキングする。

b) 鉄筋およびPC鋼材の探査

定着装置・偏向装置の取付け位置で、電磁波レーダ法や放射線透過法を用いて鉄筋およびPC鋼材を探査し、取付け用アンカー孔の削孔に支障がないか確認する。

c) 定着装置・偏向装置の設置

定着装置の緊結用緊張材用孔を鉄筋およびPC鋼材に損傷を与えないようにして削孔する。定着装置の取付け部は、チツ

ピング、サンドブラスト、ウォータージェットのいずれかでのコンクリート表面処理を行ったあと、定着装置を設置する。定着装置の設置手順については、コンクリート製または鋼製によって異なるため、詳細は「外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル（案）」<sup>4)</sup>を参考にするとよい。

d) 緊張材の配置・緊張

防錆材で被覆されたPC鋼材を使用する場合、被覆材に損傷を与えないようにPC鋼材を配置する。緊張作業は、施工計画書に示された手順および管理手法により行う。

e) 定着部の防錆処理

定着部はプレストレスを主桁に確実に伝達でき、また、外ケーブル取替え後も再利用する可能性のある部材のため、適切な防錆処理を行う。

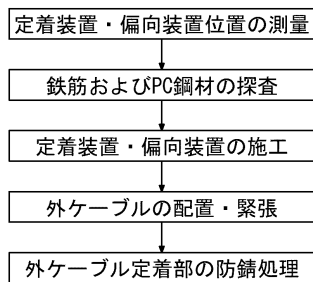


図-8.5 施工手順<sup>1)</sup>

### 8.3 繊維補強工法

(1) 概要

繊維補強工法とは、既設コンクリート構造物の耐荷性や耐久性を向上させるために、連続繊維シートを用いて補強を行う工法である。本工法は、現場において、接着樹脂を用いて連続繊維シートを接着するもので、図-8.6に示すような断面となる。連続繊維シートは、炭素繊維シート、アラミド繊維シートなどがある。

連続繊維シートは1方向に配列されているため、設計で必要となる方向に配列方向を合わせることで、補強効果を効率良く得られる。また、繊維の目付け量と積層数を増減することで、必要な補強量に容易に対応できる。連続繊維シートは軽量で、貼付けは常温硬化樹脂を用いるため、重機等を必要とせず、手作業で施工が可能であり、短期間で完了できる工法である。

また、接着樹脂により貼り付けることで、耐荷性の向上のみでなく、コンクリートへの劣化因子の侵入を防止する効果も期待できる。

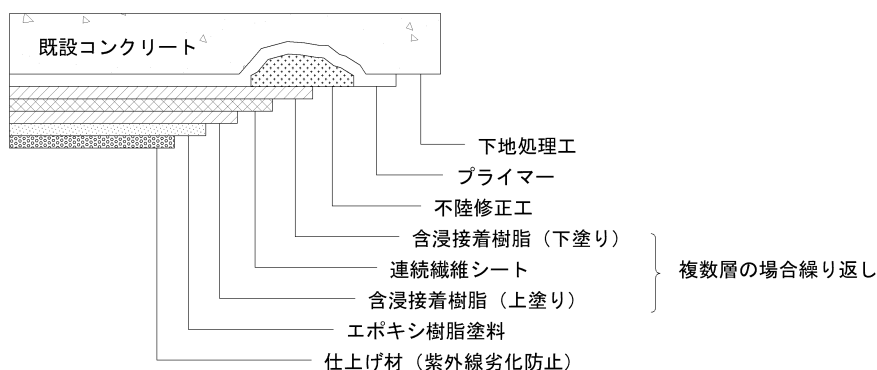


図-8.6 繊維補強工法の断面例

(2) 適用条件

繊維補強工法を用いてPC栈橋上部工の補強を行う場合は、補強後に要求される性能を十分保持することを適切な方法で

照査しなければならない。PC栈橋上部工は一般に応力状態がフルプレストレスである。繊維補強工法はプレストレスを補う工法ではなく、引張応力に対する引張鉄筋を補完するものであるため、劣化の進行度合いによりプレストレスの損失が考えられる場合には、その構造物の状況を十分に考慮したうえで、適用する必要があることに注意されたい。また、劣化した部位がある場合は、既設構造物との一体性の確保や、補強後の劣化の進行防止や維持管理を目的に、劣化した部位の補修を行ったうえで、本工法を適用するのがよい。

繊維補強工法は、含浸接着樹脂により連続繊維シートをPC栈橋に接着するものであり、PC栈橋上部工の耐荷性の向上に寄与するだけでなく、周辺からの劣化因子の侵入を遮蔽する効果も期待できる。従って、劣化した部位のみでなく、その近傍の状況も踏まえた予防保全も併せて検討するのがよい。

### (3) 使用材料

繊維補強工法に用いられる材料は、連続繊維シートや連続繊維ストランドがあり、その材質として、炭素繊維やアラミド繊維がある。繊維補強工法は、繊維シートに含浸接着樹脂が含浸し、硬化することによって補強を達成する工法であり、用いられる材料は、連続繊維シート、含浸接着樹脂のほか、不陸調整材、断面修復材などがあり、それぞれ品質が確かめられたものでなければならない。また、すべての材料は、PC栈橋上部工の架橋条件に適合した施工性を持つものでなければならない。補強効果は、これらの材料の品質と組合せによって変化するため、あらかじめ、それぞれの材料の用途や組合せの適否を確認する必要がある。

#### a) 連続繊維シート

繊維シートは、各種の製品で繊維目付量などの物理的性能、引張強度や弾性係数などの力学的性能が異なる。いずれの繊維シートも含浸接着樹脂との複合材料であるシートとして試験を行い、要求される物理的性能と力学的性能が確認されたものでなければならない。なお、材料特性の試験は、JSCE-E 541「連続繊維シートの引張試験方法(案)」、JSCE-E 543「連続繊維シートとコンクリートとの付着試験方法(案)」などに準拠して行う。

#### b) 含浸接着樹脂

繊維補強工法は、繊維が含浸接着樹脂と硬化し、連続繊維相互に結合し十分な応力伝達を行うことで、所要の品質を有するものである。従って、本工法の主要な材料である。繊維結合材として、繊維に確実に含浸し、作業に適した粘度と可使用時間を有し、連続繊維シートの所要の品質が保証できるものを選択するのがよい。

#### c) プライマー

プライマーは、連続繊維シートがコンクリート面と確実に一体化するために、あらかじめコンクリート面に塗布するもので、コンクリート表面に浸透してコンクリート表層を強化し、所要の接着強度の発現を促すものである。このため、含浸接着樹脂との組合せを十分に検討する必要がある。近年では、PC栈橋上部工のようにコンクリート表面に水分がある場合でも適用できる材料や工法が開発されており、含浸剤や高機能プライマーを用いることで塩害環境下においても適用することができる。

#### d) 不陸調整材

コンクリート表面に段差や気泡跡などがあると、気泡や樹脂だまりなどの施工不良を生じやすく、性能が確保できなくなるとともに、連続繊維シートは破断しやすくなる。このため、補強を行う表面は、滑らかに調整する必要がある。大きな突起は削り取る必要があるが、軽微な凹凸は、不陸調整材により仕上げてよい。不陸調整材は、プライマーや含浸接着剤との十分な接着が出来るものでなければならない。

#### e) その他の材料

本工法に先立って劣化した部位の補修を行う場合は、補修に用いる断面修復材やひび割れ注入材は、既設コンクリートと同等の強度や一体化するための付着強度を有していなければならない。また、繊維補強工法は複合体が外表面に設置されるため、紫外線などによる経時的変質を防ぐ目的で、塗装などにより保護層を設けるのがよい。

### (4) 設計

設計は、補強後の供用期間中に求められる性能を満足することを照査する。性能照査の方法は各規準により定められているので参考にされたい。

- ・連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針（コンクリートライブラリー101）土木学会

・コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）<sup>5)</sup>

－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針(案)－  
平成11年12月、建設省土木研究所 共同研究報告書第35号

(5) 施工

繊維補強工法は、補強材と既設コンクリートが一体化して所要の効果を発揮するため、性能を満足する適切な工法、材料選定、施工および施工管理を行う必要がある。このため、現場特有の作業環境条件に応じた判断が必要となり、施工を担当する者の技量に比較的大きな影響を受ける。このことから、有資格者により施工する必要がある。連続繊維補強工法の資格として、一般社団法人 繊維補修補強協会の「連続繊維施工士」「連続繊維施工管理士」がある。

炭素繊維シートは比較的軽量で施工性が良いが、PC栈橋上部工の施工においては、桁下空間が狭くなることもあるため、現地特有の施工条件を踏まえた施工計画が重要になる。

プライマー、不陸調整材、含浸接着樹脂などはエポキシ樹脂が用いられることが多く、適した施工条件が定められていることが多いため、あらかじめ、適用の範囲を確認するとともに、十分な品質管理を行うことが必要である。特に気温や湿度により使用する材料が異なるものもあるため、施工時期に合わせた材料の選定に注意されたい。

また、連続繊維シートの上に継手を設ける必要がある場合には、弱点とならないように、JSCE-E 542「連続繊維シートの継手試験方法(案)」により、性能を確認したうえで適切に設けることとする。

参考文献

- 1) 沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，平成30年7月
- 2) 川島仁，小畑孝欣，作井孝光，網野貴彦：電気防食工法の維持管理支援システムにおける栈橋上部工PC桁への適用事例，土木建設技術シンポジウム 論文集 2007，p.285-290，2007.8
- 3) NEXCO東日本・中日本・西日本：設計要領第二集 橋梁保全編，令和2年7月
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル（案） [改訂版]，平成19年4月
- 5) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研修室：コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）－，平成11年12月

## 9. 対策後の維持管理

### 9.1 一般

対策を行ったPC栈橋上部工の維持管理において管理者は、維持管理計画書を改訂し、これに基づく点検やモニタリング等を行うことによって、構造物の健全性を確保しなければならない。

日常・定期点検の結果、再劣化が認められた場合は、専門的な知識を有する技術者のもとで点検診断や評価を行い、適切な対策が実施されることが望ましい。

一般的には、補修工事等を実施することで構造物の耐久性が改善されるが、一方で、補修の不具合や再劣化によって、補修後の比較的早期に変状が発生する場合もある。

そのため、対策後の維持管理を行う上では、補修・補強箇所の状況を定期的に確認することが重要であり、再劣化の状況を早期に発見できれば、比較的軽微な対策で済む場合が多く、維持管理費用の低減につながる。

点検の方法としては、近接して目視することが望ましく、必要に応じ、本手引き（案）表-4.1に示す調査手法を併用するとよい。また、適用する工法によっては初期点検の時期を適切に選定することが求められる場合もある。

維持管理計画書の改訂にあたっては、9.2に点検時の着目点や留意点をまとめており、点検診断計画の参考にするとよい。対策実施後の変状を適時適切に把握するためには、実効性の高い点検診断計画を作成し、これに基づき日常点検や定期点検を着実に実施することが大切である。

点検結果の記録は維持管理を行う上で非常に重要であるため、適用した補修・補強工法に応じて適切な方法で記録し、PC栈橋上部工を供用する期間は保存する必要がある。他の施設の維持管理を行う上で有用な知見と判断される場合は、供用期間が過ぎた後も引き続き保存するとよい。

### 9.2 対策後の点検

#### (1) 一般定期点検診断における着目点

対策を行ったPC栈橋上部工に対する一般定期点検診断では、外観目視を主体として、適用した工法の効果が得られているかどうかについて確認する。

点検の実施にあたっては、適用した対策工法の効果および再劣化の特徴に応じた点検表等を作成し、それに従って調査を実施するとよい。

各種の対策工法について、期待される効果および目視調査での着目点を表-9.1に示す。

表-9.1 対策工法に期待される効果および目視調査での着目点

工法名	期待される効果	着目点
表面被覆工法	塩化物イオンの浸透低減または遮断による鉄筋腐食の抑制	・母材および被覆材のひび割れ,変色 ・表面被覆材の浮き,剥がれ
電気防食工法	防食電流の供給による鉄筋腐食の抑制	・防食対象区間の表面のひび割れ, 錆汁 ・電源・モニタリング装置の損傷,発錆(装置外観) ・電源・モニタリング装置の稼働状況(点灯確認) ・配管の損傷
断面修復工法	塩化物イオンの除去による鉄筋腐食の抑制	・断面修復部の剥がれ,浮き,錆汁
ひび割れ補修工法	補修材の被覆,注入,充填等によるひび割れの進行抑制,劣化因子の遮断	・補修部位の漏水,ひび割れ ・補修材の浮き,剥がれ
上面防水工法	橋面部の補修による漏水防止	・栈橋下面の漏水・エフロレッセンス
PC グラウト再注入工法	シーズ内の空洞部を充填することによるPC 鋼材の腐食抑制	・栈橋上面の段差 ・間詰め部（下面）の錆汁
外ケーブル工法	緊張材の設置による耐荷性能の向上	・定着装置, 緊張材保護管の損傷,発錆 ・既設コンクリートのひび割れ
繊維補強工法	繊維補強材の接着による耐荷性能の向上	・繊維補強材の漏水,膨れ,断裂 ・表面塗装の剥離

## (2) 対策工法ごとの点検診断における留意点

対策後の点検診断は、それぞれの工法や使用材料・機器の特性を考慮の上、次のような点に留意して実施するとよい。

### ① 表面被覆工法

表面被覆工法による補修後の点検では、主に母材コンクリートおよび表面被覆材のひび割れの有無を、目視にて確認する。このとき、ひび割れ部からの錆汁の有無や表面被覆材の変色等の変状についても調査する。特に、海側の桁は漂流物による損傷のみならず、紫外線の作用による表面被覆材の劣化が生じやすいため、入念に調査する。

また、変状が発生した部位については、必要に応じて、表面被覆材の付着強度試験や塩化物イオン濃度調査、はつり調査などを実施して、表面被覆材の劣化の程度や内部鉄筋の腐食状況などについて確認する。

### ② 電気防食工法

電気防食工法による補修後の点検では、日常点検や定期点検診断における目視調査、装置の作動状況に加えて、所要の防食効果が確保されているかについて、確認することが重要となる。そのため、モニタリング装置などを用いて常時管理できる体制にすることが望ましい。

電気防食工法のシステムは、電源装置、陽極装置、配線・配管など多様な装置で構成されており、防食効果を維持するための確認項目が多岐にわたる。また、工法適用直後の段階では防食効果が変動しやすく、温度や湿度の季節的な変化の影響も受けやすいため、再劣化その他の不具合を早期に把握できるように初期点検の時期・季節を適切に選定する必要がある。これらの内容については「電気化学的防食工法指針」<sup>1)</sup>に詳しいので、参照するとよい。

各装置に不具合が確認された場合には、不具合が発生した箇所に対して、補修設計時に定めた仕様を満足するように電気防食システムの見直しを検討するとよい。

### ③ 断面修復工法

断面修復工法による補修後の点検では、主に補修部に対して目視による調査を行い、断面修復部と母材コンクリートの境界面における剥離、錆汁の有無、断面修復部における曲げひび割れの発生の有無などについて、入念に確認する。また、打音調査を併用して、断面修復部全体およびその周辺の未補修部における浮きなどの存在を確認する。

ひび割れや剥離等が確認された場合には、マクロセル腐食の可能性も含めた要因の検討と対応が必要となる。

### ④ ひび割れ補修工法

ひび割れ補修工法による補修後の点検では、目視とクラックゲージを主体として表面ひび割れ幅、漏水・析出物を確認する。ひび割れ充填材の浮きに対しては、触診や打音調査を行う。ひび割れ修復後の早期に、ひび割れから漏水や析出物が再発するケースは、水分供給の遮断が不十分であることに起因することが多い。

### ⑤ 上面防水工法

上面防水工法による補修後の点検では、防水層の状態を直接的に確認することは難しい。そのため、舗装表面や栈橋下面におけるひび割れ、段差、漏水、錆汁等の有無を目視で入念に確認することによって、防水層の変状の兆候を見逃さないようにすることが重要である。水の侵入経路に着目した目視調査については、本手引き（案）の3.を参照されたい。また、変状が認められた場合の詳細調査や発生原因の推定方法については、「道路橋床版防水便覧」<sup>2)</sup>を参考にするとよい。

### ⑥ PCグラウト再注入工法

PCグラウト再注入工法による補修後の点検では、栈橋上面における段差の有無や間詰め部下面における錆汁、PC鋼材に沿ったひび割れの有無などを確認する。

### ⑦ 外ケーブル工法

外ケーブル工法適用後の点検では、コンクリートのひび割れ、定着装置、緊張材の保護管などを目視により確認することを基本とする。

定着装置の損傷の有無とともに、定着具の腐食状況や変形が生じていないかを確認し、定着装置近傍の既設部材にひび割れなどが発生していないかについても点検を行う。

緊張材保護管については表面状態を確認し、保護管の損傷の有無や緊張材の腐食による錆汁などの異常がないか点検する。

緊張材の振動を目視により点検し、目視で確認できる程度の振動が発生していないか確認する。緊張力の低下が懸念される場合には、必要に応じて緊張力の計測もしくはモニタリングを行う。

#### ⑧ 繊維補強工法

繊維補強工法適用後の点検では、コンクリートと繊維シート間の浮きや剥がれ、膨れが発生することがあるので、目視点検や打音検査により、変状がないことを確認する。また、シート接着周辺のコンクリートの変状の有無も確認することで、母材の劣化状況を把握する上で重要である。床版の補強など、補強範囲が比較的大きい場合には、網目状や隙間を空けて貼り付けるなど、コンクリート面を点検しやすい配置とすることもありえる。

#### (3) 耐荷性能が低下したPC桁に対する点検の留意点

本手引き（案）10.1に示すような耐力評価事例に基づき、1～2本のPC桁の耐力が低下しているものの小規模な補修で施設供用を継続できるような場合、対策後の点検においては次のような留意事項があげられる。

補修したPC桁に対しては、再劣化が生じる前の段階で、耐荷性能の低下につながる異常を検知できるように、以下に示すような措置について検討するとよい。

- ・PC桁のたわみの変化や固有振動数を定期的あるいはリアルタイムに計測管理する
- ・たわみの管理値は、耐力評価とその検証のための載荷試験の段階で設定しておく
- ・固有振動数は、予め初期値を測定しこれとの相対評価で異常を検知できる可能性がある<sup>3)4)</sup>

PC桁の計測管理における留意事項については、「PC建造物の維持保全-PC橋の更なる予防保全に向けて-[2015年版]」<sup>5)</sup>が参考になる。

また、並列するPC桁の一体性が保持されていることが前提条件となるため、間詰め・横締め部や舗装面において一体性が損なわれるような変状がないか、重点的に日常点検や定期点検を実施する必要がある。

PC桁の剛性が低下しており、厳しい塩害環境にあるもとでは、供用時の荷重に対する抵抗性が急激に低下することもありうる。そのような場合は、PC栈橋上部工のたわみやひび割れが急変することになるため、なるべく早期に確認できるよう、栈橋下面部にアクセスできる点検設備等を予め検討しておくことが望ましい。

#### 参考文献

- 1) (公社)土木学会：電気化学的防食工法指針，コンクリートライブラリー157，令和2年10月
- 2) (公社)日本道路協会：道路橋床版防水便覧，平成19年3月
- 3) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター，プレストレスト・コンクリート建設業協会：撤去橋梁を用いた既設PC橋の診断技術高度化に関する共同研究報告書，平成27年9月
- 4) 立神久雄，藤田真実，松田義則，高橋輝光：コンクリート橋の損傷による力学および振動特性と補強効果，プレストレストコンクリート技術協会第13回シンポジウム論文集，平成16年10月
- 5) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC建造物の維持保全-PC橋の更なる予防保全に向けて-[2015年版]，平成27年3月



10. 劣化を想定した評価例

ケース No.	対象 港湾	変状パターン	劣化度	性能判断 の区分	点検診断の実施項目		劣化原因 の推定	対策
					詳細調査	性能評価		
ケース1	A港	部材軸方向のひび割れ、 錆汁あり、剥離あり	a	区分Ⅳ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・外観目視調査</li> <li>・塩化物含有量測定 (ドリル法)</li> <li>・鋼材腐食調査 (削孔目視)</li> </ul>	格子解析および載荷試験 による耐力評価	塩害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復工法</li> <li>・電気防食工法 (外部電源方式)</li> </ul>
ケース2	B港	部材軸方向のひび割れ、 錆汁あり		区分Ⅲ		詳細調査に基づく評価	桁の締固め不足 による塩害	<ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復工法</li> <li>・犠牲陽極採用による 電気化学的防食工法</li> </ul>
ケース3	C港	部材軸直角方向のひび割れ、 錆汁あり		区分Ⅲ		スターラップの かぶり不足	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気防食工法 (外部電源方式)</li> </ul>	

10.1 ケース1

(1) 構造物の概要

本ケースで検討している構造物の概要を表-10.1.1 に示し、対象栈橋標準断面図を図-10.1.1 に、PC 桁部断面図を図-10.1.2 に、PC ホロー桁構造図を図-10.1.3 にそれぞれ示す。

表-10.1.1 構造物の概要

構造物の形式		直杭式横栈橋	
上部工の形式		プレキャスト PC 桁(プレテンション形式ホロー桁)	
竣工年		1995 年	
竣工からの経過年		25 年	
今後の予定共用期間		25 年	
上部工 使用材料	コンクリート	主桁	設計基準強度 50N/mm <sup>2</sup>
		間詰・連結部・受梁	設計基準強度 24N/mm <sup>2</sup>
	PC 鋼材	主桁縦締め	SWPR7 1T12.4
		横桁横締め	SWPR19 1T19.3
鉄筋	SD345		
補修履歴		無し	

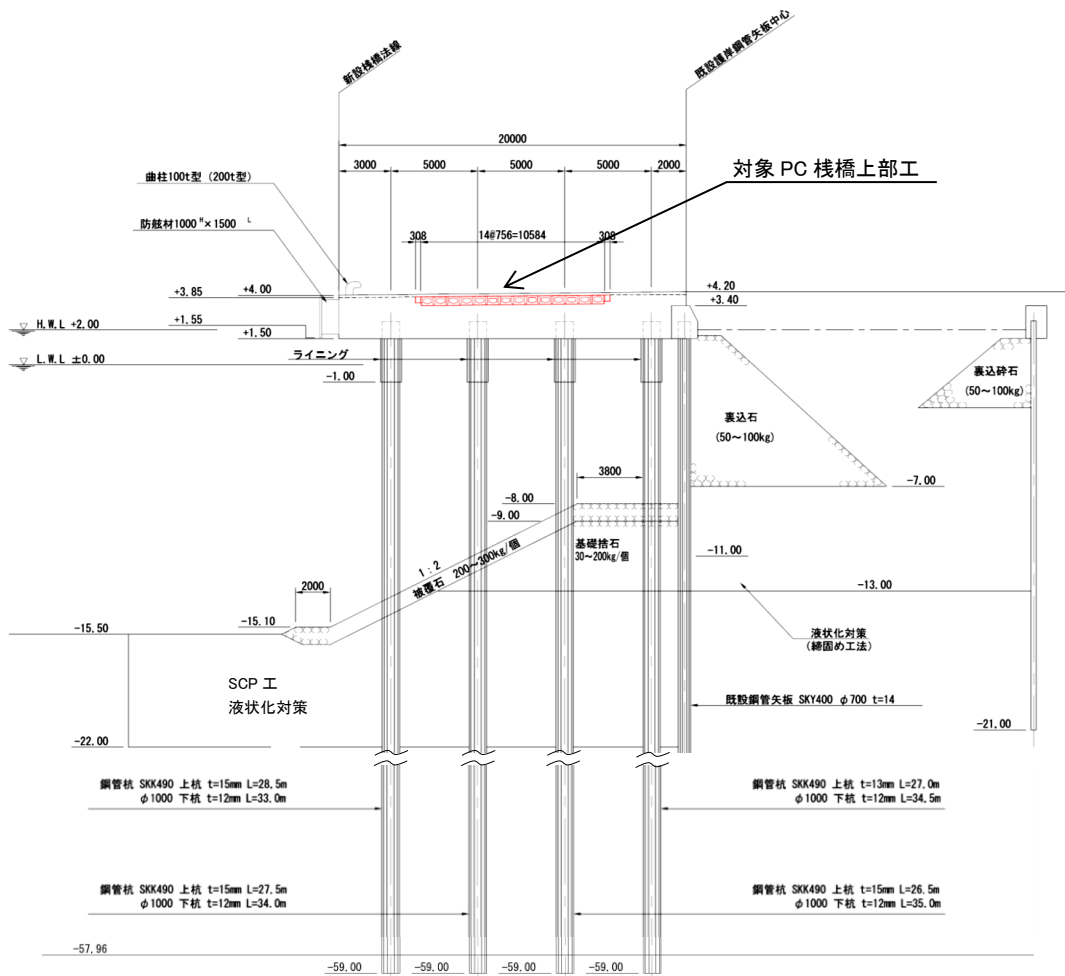


図-10.1.1 対象栈橋標準断面図

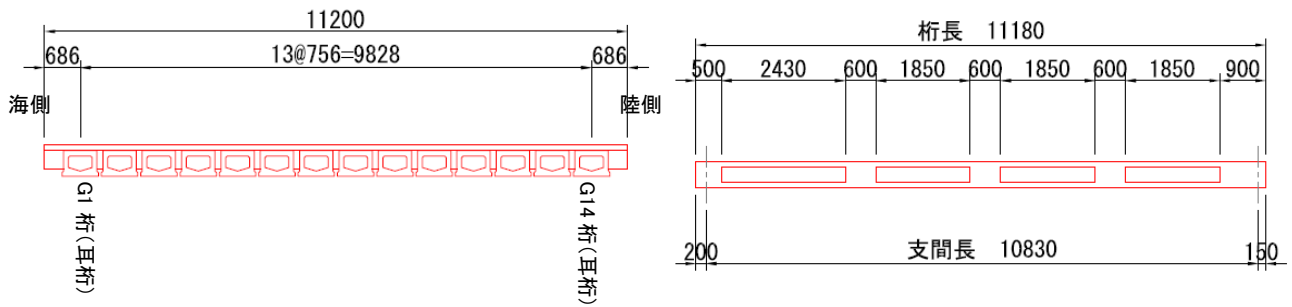


図-10.1.2 PC 桁部断面図（左：断面図，右：正面図）

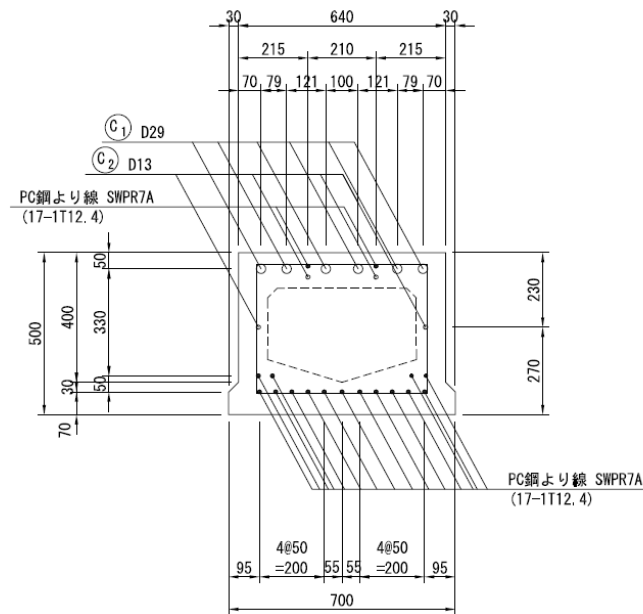


図-10.1.3 PC ホロー桁構造図

(2) 一般定期点検診断

一般定期点検診断の調査結果を下記に示す。

1) 点検診断の概要

- ・対象部材の環境条件：飛沫帯
- ・対象部材の維持管理レベル：[ I ]
- ・点検方法：外観目視（海上目視）

表-10.1.2 維持管理レベルと基本的な考え方<sup>1)</sup>

分類	損傷劣化に対する考え方	備考(旧呼称)
維持管理レベルⅠ	高水準の対策を事前に施す	事前対策型
維持管理レベルⅡ	性能低下を予防する	予防保全型
維持管理レベルⅢ	事後的に対処する	事後保全型

2) 点検結果

- ・ 7ブロック (BL) の海側端部 G1 桁において、プレキャスト PC 桁下面の支間中央部に錆汁を伴う桁軸方向のひび割れが確認された。
- ・ ひび割れ部にコンクリートの浮きが見られた。
- ・ 海上から観察した間詰め、横桁部および陸上から観察した舗装面に変状は見られなかった。



図-10.1.4 点検状況および変状発生箇所写真

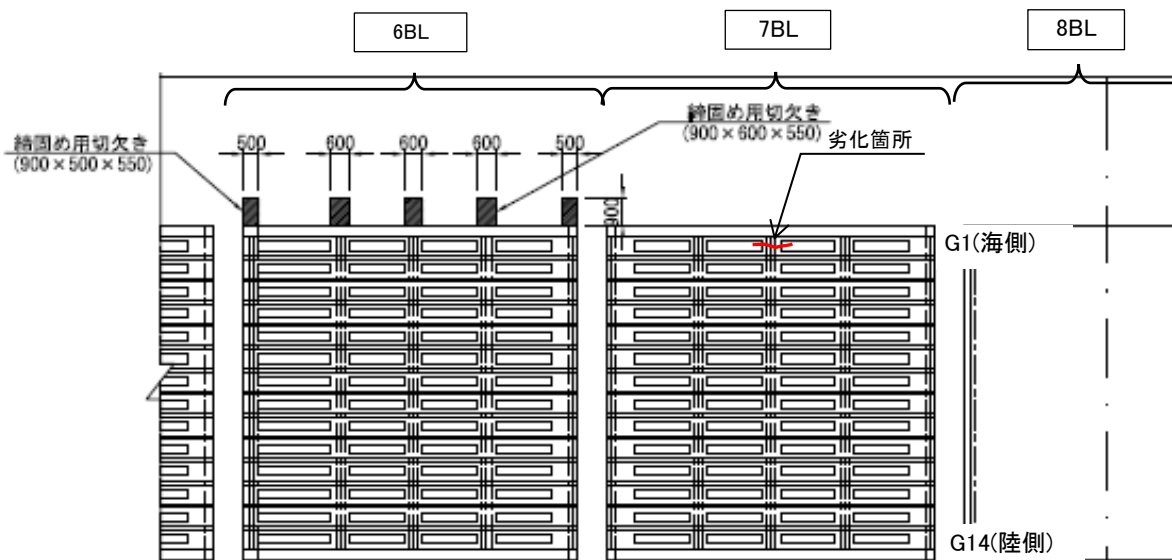


図-10.1.5 点検結果図

3) 変状箇所の分類

- ・ 港湾の施設の維持管理技術マニュアル<sup>2)</sup>を参考とし、劣化度 a と判定した。

表-10.1.3 劣化度判定

対象施設	点検診断項目分類	点検診断項目	点検方法	劣化度の判定基準	
				a:	b:
直杭式横棧橋	I類	上部工 (下面部) (PCの場合)	目視 ・ひび割れの発生状況 ・錆汁の発生状況	a:	<input checked="" type="checkbox"/> ひび割れがある <input checked="" type="checkbox"/> 錆汁がある
				b:	--
				c:	--
				d:	<input type="checkbox"/> 変状なし

4) 性能判断の区分の分類

港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>3)</sup>を参考として、以下のように設定した。

- ・ 軸方向の錆汁を伴うひび割れがあり、一部剥離を伴っているため PC 鋼材が破断している可能性が高いとして、性能判断の区分をIVとした。

表-10.1.4 性能判断の区分

劣化度	外観状況	性能判断の区分	診断
a	PC桁下面にPC桁の部材軸方向のひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられるが、錆汁は確認できない。	区分Ⅱ	PC鋼材は腐食しておらず、当初の性能を有している。
	PC桁下面にひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられ、ひび割れからの錆汁の析出が確認できる。	区分Ⅲ	PC鋼材の外側にある鉄筋の腐食が進行している。今後、PC鋼材の腐食が進行する可能性があり、耐力の低下が懸念される。
	PC桁下面のPC鋼材の腐食が進行し、コンクリートの剥離、剥落が生じている。	区分Ⅳ	PC鋼材が著しく腐食しており、PC鋼材が破断している可能性がある。PC桁の耐力不足が懸念される。

5) 構造物の性能判断の区分に応じた詳細点検診断の要否の判定

以下の図-10.1.6 のフローに従い、性能判断の区分Ⅳに該当する詳細臨時点検診断を実施した。

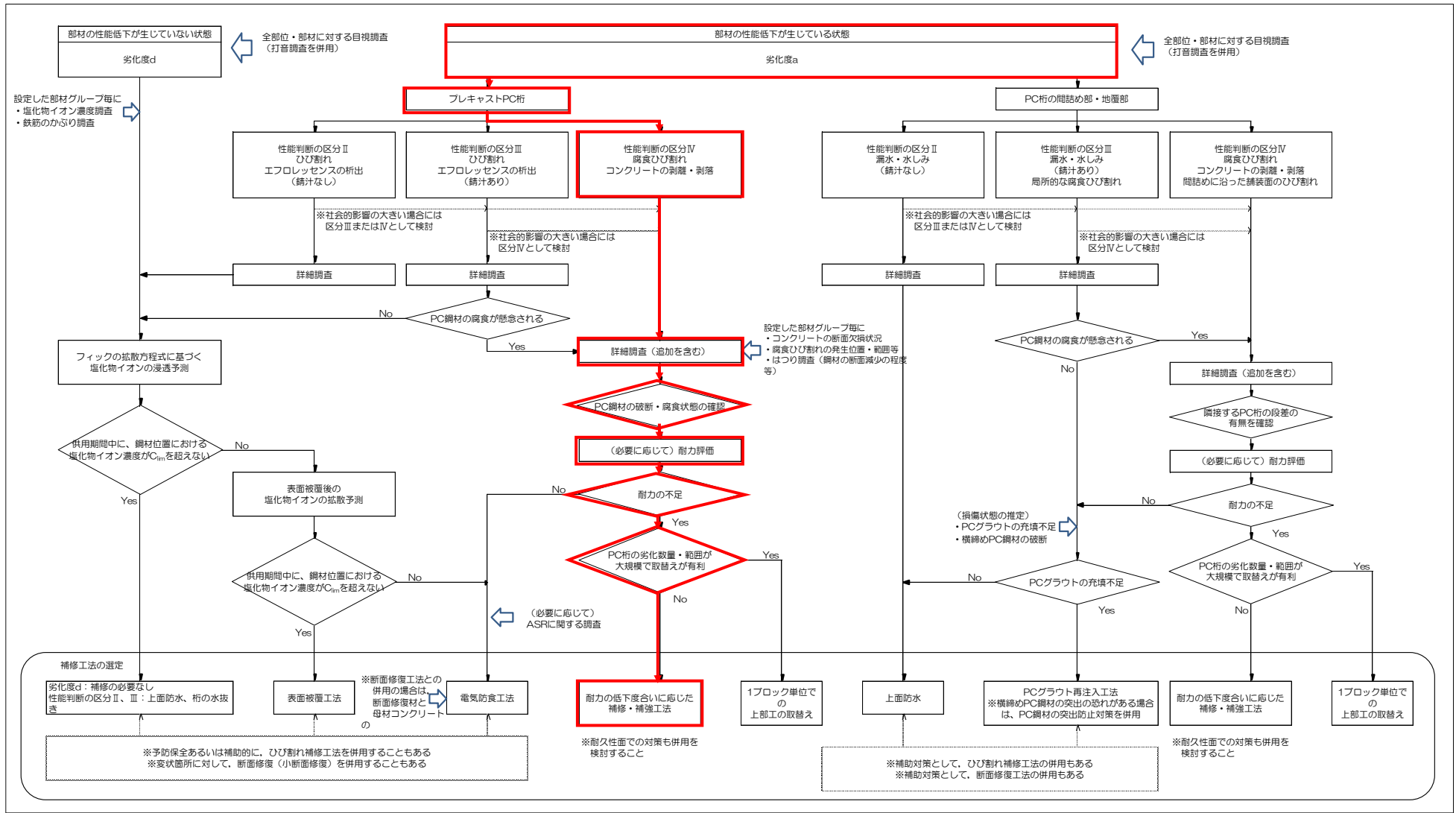


図-10.1.6 PC 栈橋上部工における標準的な補修・補強工法の選定フロー (案)

(3) 詳細臨時点検診断

一般定期点検で把握した変状パターンに応じて、本手引き（案）の調査方法の選定シート（案）である表-4.8を参考にし、調査項目を選定し、詳細臨時点検診断を実施した。

1) 点検診断の概要

点検診断項目の分類：I類 上部工（下面部）（PCの場合）

点検方法：

一般定期点検で把握した変状パターンに応じて、本手引き（案）の参考資料「調査方法の選定シート（案）ホロー桁;主桁本体その1」を参考にし、調査項目を選定した。

①外観目視（打音調査併用）

- ・対象全体について、ひび割れ、錆汁、エフロレッセンス、浮き・剥離について、目視調査を実施した。
- ・対象をブロック毎に分類し、損傷程度（劣化度）の整理を行った。
- ・損傷の激しい箇所については打音調査を行い、浮き・剥離、空洞の有無について整理を行った。

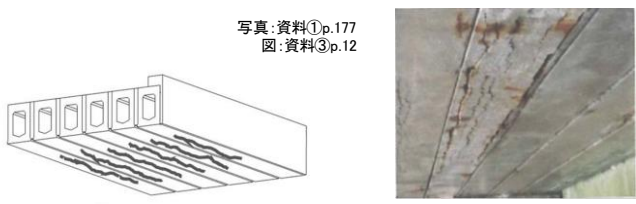
②塩化物含有量測定（ドリル法）

- ・錆汁の発生箇所および健全部について、ドリル法による塩化物イオン濃度測定を実施した。

③PC鋼材腐食調査

- ・錆汁の発生箇所について、削孔およびファイバースコープによる直接目視を実施した。

表-10.1.5 調査方法の選定シート

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ) 損傷レベル(低、中、高)	劣化要因・ 主要要因	必須調査(変状の把握)	
			外観目視・打音調査、 水の浸入、使用状況調査	
<p>【1.3 部材軸方向のひび割れ】</p> <p>写真:資料①p.177 図:資料③p.12</p>  <p>・錆汁、コンクリートの浮き・剥落などが確認できる。</p>	<p><b>区分Ⅳ</b> (参考) 劣化の進行による耐久性の低下が顕著であり、耐荷性の低下が懸念される段階と考えられるもので、このまま放置すると耐久性の回復が困難になるとともに、耐荷性の低下も深刻になることが懸念されるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塩害</li> <li>・ASR</li> <li>・初期欠陥</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎外観目視調査</li> <li>◎打音調査</li> <li>◎防水層の有無</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水しみ発生箇所</li> <li>・浮き、剥離の有無</li> <li>・設計図書の確認</li> </ul>

劣化原因の推定			性能・機能評価				耐力力評価	
塩害調査		ASR調査	初期欠陥		非破壊調査	微破壊調査		
◎塩分測定	・ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ◎ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、静弾性係数)	◎外観目視調査	・小型船や無人船による調査	◎鉄筋、PC鋼材の配置	・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法	◎鉄筋腐食	◎耐力評価 △載荷試験 →供用停止
			◎打音調査	・浮き、剥離の有無	◎内部鋼材の腐食状況	・自然電位法 ・分極抵抗法	・はつり、削孔による直接目視 ・鋼材腐食量	
			◎内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水	・サーモグラフィ法	◎PC鋼材の破断	・漏洩磁束法	◎PC鋼材腐食	
			◎内部空洞	・電磁波レーダ法			◎残存プレストレス力の確認	

2) 点検結果

①外観目視（打音調査併用）

外観目視により、上部工各ブロックの劣化度代表値を得た。以下の表-10.1.6に劣化度の代表値一覧表を示す。なお錆汁を伴うG1桁のひび割れ箇所については、浮きおよび一部の剥離が確認された。その他には隣接するG2桁でも、打音調査によって一部に浮きが発見された。以下の図-10.1.7に外観目視結果図を示す。

表-10.1.6 劣化度代表値

点検項目	点検診断項目分類	評価単位(ブロック毎)									評価個数の出現割合				
		1BL	2BL	3BL	4BL	5BL	6BL	7BL	8BL	9BL	a	b	c	d	
上部工 (下面)	コンクリートの劣化, 損傷(PCの場合)	I	d	d	d	d	d	d	a	d	d	11%	0%	0%	89%

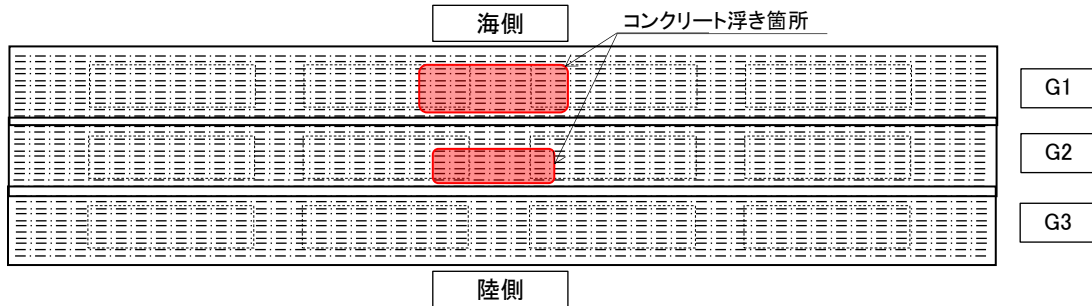


図-10.1.7 外観目視結果平面図(7BL)

②ドリル法による塩分含有量測定

ドリル法による塩分含有量測定により、PC 鋼材位置での塩化物イオン濃度を削孔深度毎に実測した。計測はひび割れがあった G1 桁中央部の他に隣接する G2,G3,G4 桁でも測定を行った。以下の図-10.1.8 に桁別、深度別の塩化物イオン濃度の測定結果図を示す。塩化物イオン濃度は海に近い G1 桁から陸側に位置する G4 桁に向かって順に濃度が低下していく傾向が見られる。またこれらの結果を元に、PC 鋼材位置での供用終了時までの塩化物イオン濃度の予測計算を行った。以下の図-10.1.9 に塩化物イオン濃度の将来予測値の結果図を示す。この図から G1 桁では 34 年目に、G2 桁では 42 年目に腐食発生限界塩化物イオン濃度の  $2.0\text{kg/m}^3$  を超えることが解る。

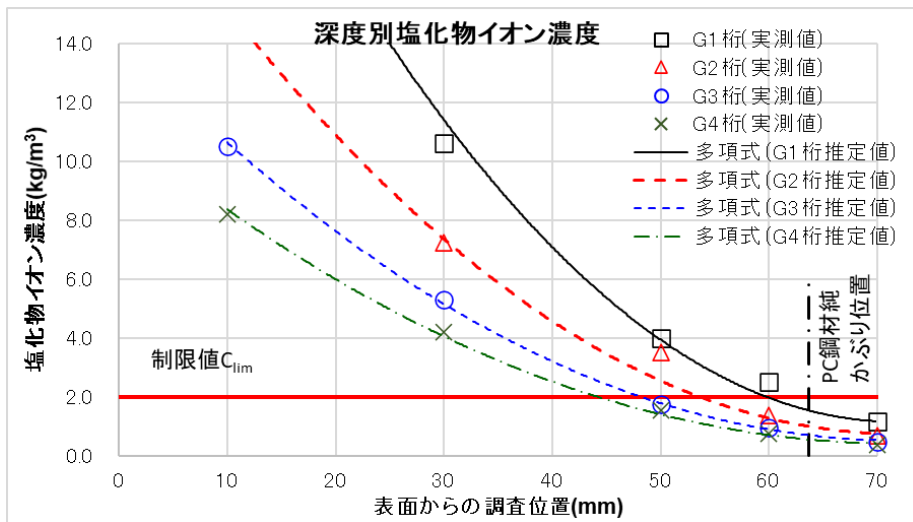


図-10.1.8 桁別、深度別の塩化物イオン濃度の測定結果



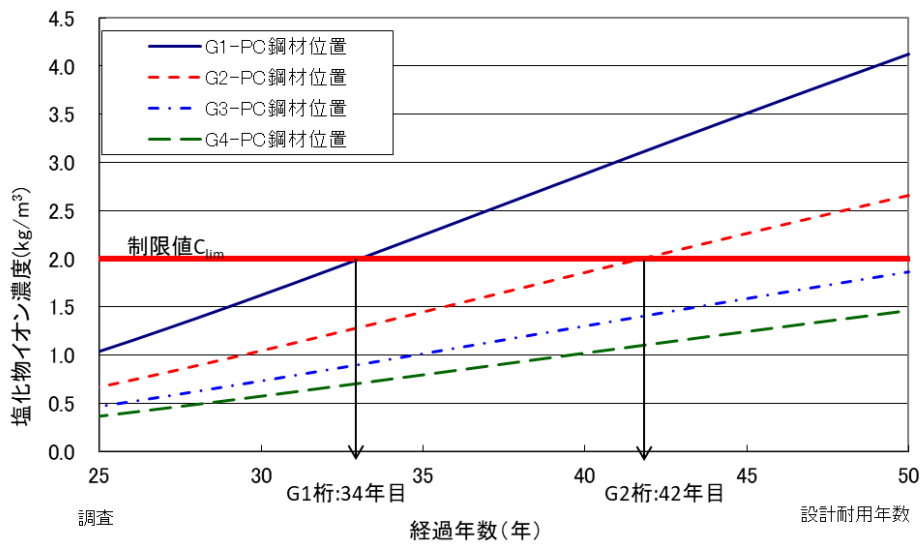


図-10.1.9 PC鋼材位置での塩化物イオン濃度将来予測図

### ③削孔による直接目視

ドリルによってPC桁下面の削孔を行い、そこにファイバースコープを挿入してPC鋼材の状況を直接目視した。以下に目視状況および調査箇所を示す。PC鋼材1本置きに調査を行い、コンクリートに浮きが見られたG1桁から変状が無いG3桁までの3桁を調査した。以下の図-10.1.10に使用したファイバースコープおよび直接目視状況を示し、図-10.1.11に削孔による直接目視結果を示す。

G1桁およびG2桁では調査を行ったPC鋼材61本中、中央部の1本にPC鋼材の浮き錆状の腐食が確認されたもののPC鋼材が破断している状況は見つからなかった。また、その他のPC鋼材について腐食は確認されなかった。

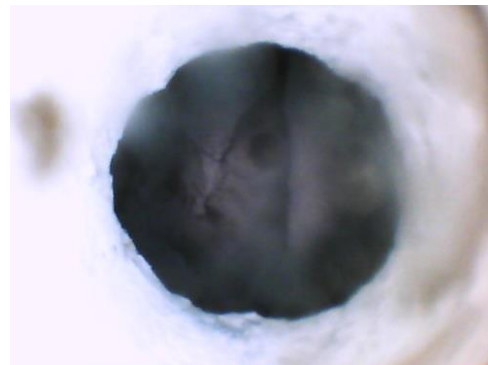


図-10.1.10 ファイバースコープおよび削孔による直接目視状況

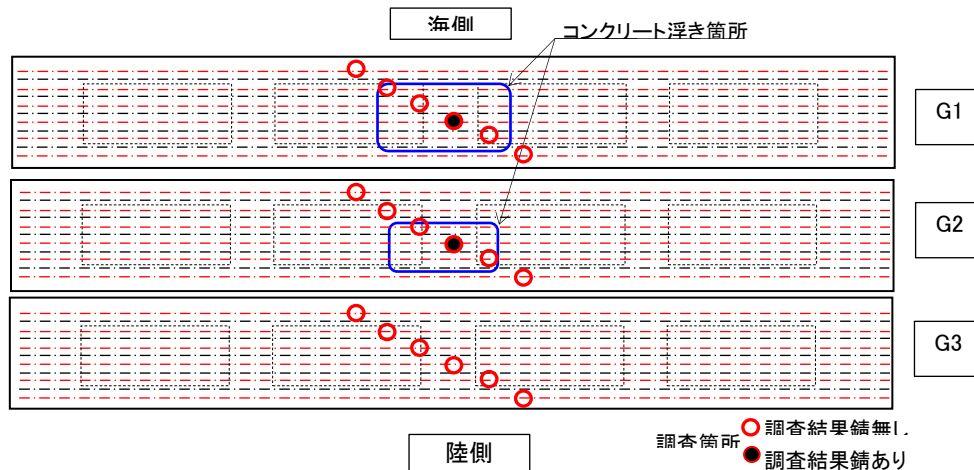


図-10.1.11 削孔による直接目視結果

#### (4) 点検診断の評価

各点検結果による評価を以下に示す。

##### 1) 外観目視（打音調査併用）

G1 桁中央部に軸方向のコンクリートの剥離が見られ、鋼材からの錆汁が確認できる。G2 桁中央部は浮きが確認される。その他の部分において、変状は認められなかった。G1,G2 桁の浮き・剥離箇所の PC 桁は、何らかの要因で PC 桁が損傷しているものと判断する。

##### 2) 塩化物含有量測定（ドリル法）

ドリル法による塩分含有量測定により、塩化物イオン濃度は海に近い G1 桁から陸側に位置する G4 桁に向かって順に濃度が低下していく傾向が見られた。またこれらの測定結果を元に、PC 鋼材位置での供用終了時までの塩化物イオン濃度の予測計算を行った結果 G1 桁では 34 年目に、G2 桁では 42 年目に腐食発生限界塩化物イオン濃度の  $2.0\text{kg/m}^3$  を超えることが解った。

##### 3) PC 鋼材腐食調査

剥離・剥落箇所における PC 鋼材の腐食状況は、G1,G2 桁中央部の PC 鋼材 1 本に軽微な錆が発見された。また PC 鋼材の切断は確認されなかった。腐食が確認された PC 鋼材に隣接する調査箇所では PC 鋼材の腐食は確認されなかったため、G1,G2 桁とも軽微な錆が発見された PC 鋼材 1 本とその両脇の 2 本を加えた 3 本が腐食しているものと判断する。また設計耐用年数の 50 年目では塩化物イオン濃度は腐食発生限界イオン濃度を超えているため、今後も腐食が進行していくものと推測できる。ただし、すべての PC 鋼材腐食調査は出来ないため、安全側に考え PC 鋼材の破断があるものと判断した。

##### 4) 劣化要因の推定

調査結果より塩化物イオン濃度は、最も海側である G1 桁部分が大きく、G2,G3 と陸側に行くにしたがって次第に少なくなっている。本栈橋は以下の図-10.1.12 に示す通り、海側が開口部となり陸側は土留めがあるため、海側からの波浪による塩化物イオンの供給により、塩害が主要因となって劣化が進行したものと推測される。

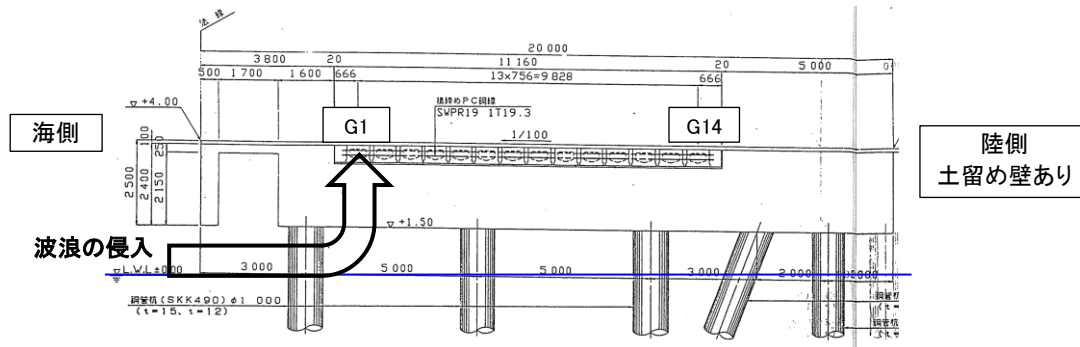


図-10.1.12 各桁の配置および劣化要因の関係図（栈橋断面図）

(5) 耐力評価の必要性の判定

現時点での PC 鋼材破断は確認できなかったが、塩化物イオン濃度が腐食発生限界地を超えているために安全側に判断して残存共用期間に PC 鋼材が破断すると予測した。既存の設計計算書から、PC 鋼材が破断した場合での耐力検討を行い、要求性能が確保出来ないことを確認した。

対象施設は重要性が高い栈橋であるため、今後の対策を検討するため構造解析を実施する。

(6) 耐力評価<sup>4)</sup>

1) 構造解析の概要

点検診断評価を踏まえ、耐力評価のために以下の条件で構造解析を行った。今回の検討は供用期間の延長や設計条件の変更を伴わないため、当初設計時（1994 年）の基準に準拠して検討を行う。

表-10.1.7 構造解析検討ケース一覧表

解析ケース	対象時期	劣化	劣化桁	劣化部位	PC鋼材の腐食
Case1	建設時再現	無し	無し	—	—
Case2	現状 (供用終了時)	現状 (現状を維持)	G1,G2	支間中央部を含む 主桁下面全長	最下段3本破断
Case3	供用終了後	劣化が進行			最下段11本破断

劣化損傷のある桁とない桁を同じモデルで評価するため、断面力算出は格子解析により行う。また、点検の結果では横桁には劣化が見られなかったため、横桁 PC 鋼材により PC 桁が一体化されている条件とした。

Case2, Case3 のモデル化の概要を以下に示す。

2) **Case2** 現状または供用終了時まで現状の劣化状態を維持させる場合

① 事象とモデル化

Case2 は、現状または供用終了時まで現状の劣化状態を維持させる場合を想定している。以下の表-10.1.8 に Case2 でのモデル化の概要を示す。

表-10.1.8 モデル化の概要 (Case2)

事象	モデル化での仮定	仮定した際の配慮事項
G1,G2桁に錆汁を伴う軸方向のクラック	クラック上のPC鋼材1本とその両側1本ずつの計3本が腐食	全てのPC鋼材を全区間に渡って点検を行っていないため
劣化損傷部は支間中央のみ	劣化損傷部を含む主桁下面全区間でPC鋼材が腐食	PC鋼材全長にわたって点検は行っていないため
G1,G2桁以外の桁には劣化損傷は見られない	G1,G2桁以外の桁は健全	

②PC 鋼材の腐食のモデル化

対象構造物は供用することを前提としており、解析は安全側になるように以下の条件より腐食した PC 鋼材は破断していると仮定して、モデル化しないものとした。

- 点検条件より調査結果の精度は必ずしも高くない
- 対象となる PC 鋼材は細径である
- PC 鋼材の腐食評価手法について多数の研究報告はあるが、標準的に使用されている手法はない

③モデル化の概要図

以下の図-10.1.13 に Case2 での栈橋全体のモデル化の概要図を示し、図-10.1.14 に PC 桁の劣化をモデル化した概要図を示す。

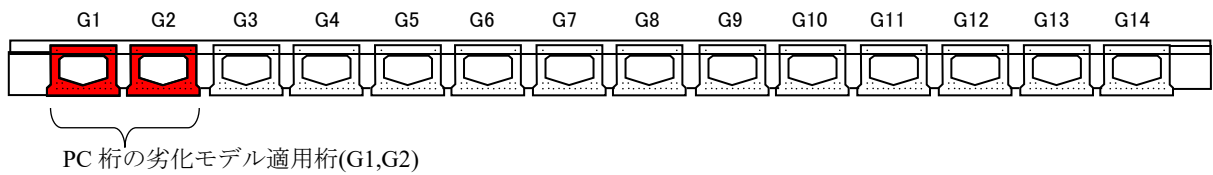


図-10. 1. 13 栈橋全体のモデル化の概要図 (Case2)

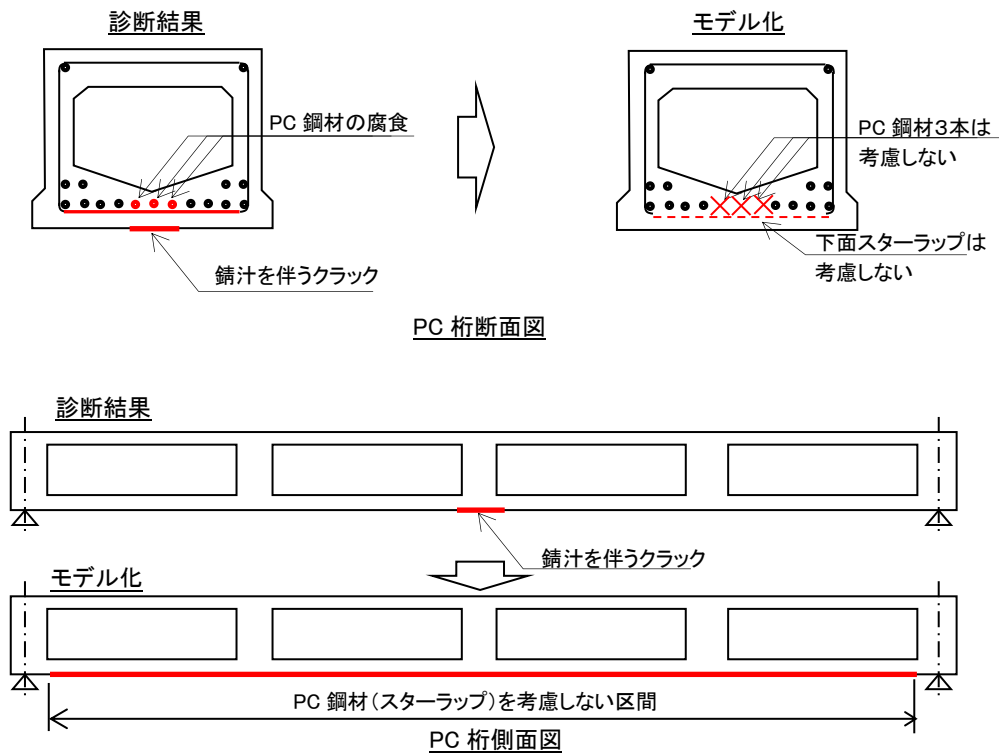


図-10. 1. 14 PC 桁モデル化の概要図 (Csse2)

3) **Case3** 無対策で劣化が進行して供用終了時を迎える場合

①事象とモデル化

Case3 は、無対策で劣化が進行して供用終了時を迎える場合を想定している。以下の表-10.1.9 に Case2 でのモデル化の概要を示す。

表-10.1.9 モデル化概要 (Case3)

事象	モデル化での仮定	仮定した際の配慮事項
G1,G2桁は現況でPC鋼材位置での塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界を超過	最下段PC鋼材は全て腐食 かぶりコンクリートはすべてはく落	PC鋼材の腐食は今後も進行するものとし、安全側に考慮
劣化損傷部は支間中央のみ	劣化損傷部を含む主桁下面全区間でPC鋼材が腐食し、かぶりコンクリートはく落	PC鋼材全長にわたって点検は行っていないため
G1,G2桁以外の桁には劣化損傷は見られない	G1,G2桁以外の桁は健全	

②PC 鋼材の腐食のモデル化

Case2 と同様、腐食した PC 鋼材は破断していると仮定して、モデル化しない。

③モデル化の概要図

以下の図-10.1.15 に Case 3 での栈橋全体のモデル化の概要図を示し、図-10.1.16 に PC 桁の劣化をモデル化した概要図を示す。

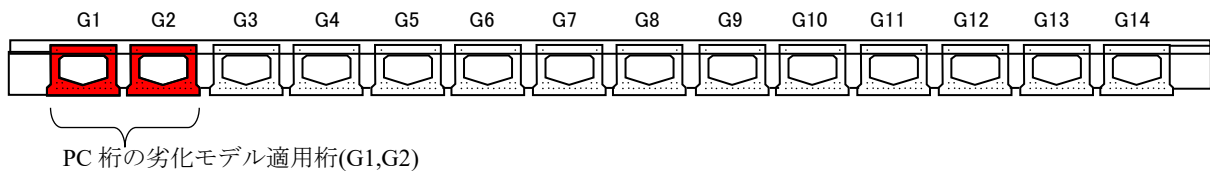


図-10.1.15 栈橋全体のモデル化の概要図 (Case3)

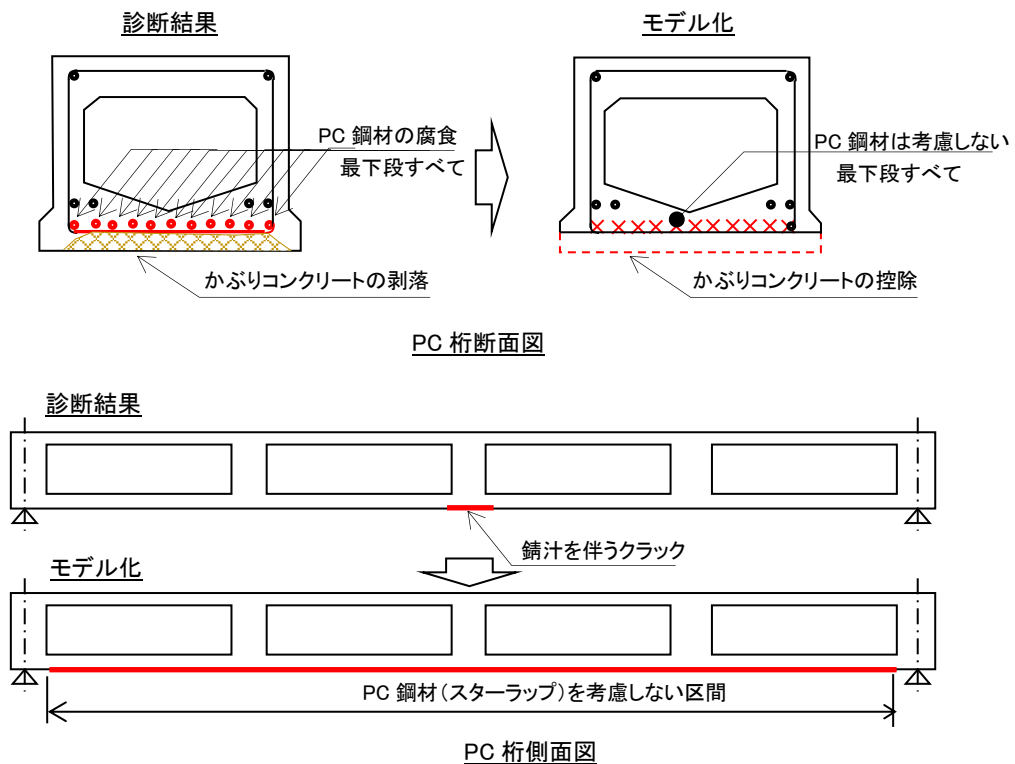


図-10.1.16 PC 桁モデル化の概要図 (Case3)

#### 4) 格子解析結果

建設時の設計計算書において使用された規準に準拠して照査を行った。基準上では栈橋上部工の性能照査項目として、上部工の断面破壊、上部工の断面ひび割れ幅、上部工の疲労破壊の3項目について照査を行う必要がある。疲労破壊については不要であったため、ここでは上部工の断面ひび割れ幅および上部工の断面破壊について照査を行った。上部工の断面ひび割れ幅についてはコンクリートに生じる曲げ圧縮および曲げ引張応力度、およびPC鋼材における応力度の3つの照査項目がある。

以下の表-10.1.10に劣化損傷のあるG1桁支間中央部の照査結果を示す。ここでは、部材の性能照査上最もクリティカルになる上部工の断面ひび割れ幅（コンクリートに生じる曲げ引張応力度）および上部工の断面破壊を示している。なお、せん断力の大きくなる支点近傍には劣化損傷が見られなかったため、照査は行わなかった。また、G2桁はG1桁に比べて断面力が小さく出る傾向にあったが、解析結果はG1桁と同様であった。現状が維持可能なCase2の場合すべての場合において制限値内であり要求性能を満足している。

表-10.1.10 解析結果

解析 ケース	着目位置		上部工の断面ひび割れ幅(コンクリートに生じる曲げ引張応力度)								上部工の断面破壊		
			永続状態				変動状態				終局状態		
			$\sigma_c$	$\sigma_u$	制限値	判定	$\sigma_c$	$\sigma_u$	制限値	判定	設計曲げ モーメント	破壊抵抗曲 げモーメント	判定
			(N/mm <sup>2</sup> )				(N/mm <sup>2</sup> )						
Case1	G1桁	支間 中央	5.32	6.91	$\geq$ 0.00	O.K	10.95	1.65	$\geq$ 0.00	O.K	520.67	713.12	O.K
Case2	G1桁	支間 中央	5.08	5.69	$\geq$ 0.00	O.K	10.75	0.35	$\geq$ 0.00	O.K	524.36	580.60	O.K
Case3	G1桁	支間 中央	2.94	3.72	$\geq$ 0.00	O.K	8.40	-2.88	$\geq$ 0.00	OUT	301.64	193.17	OUT

#### 5) 耐力評価

格子解析の結果Case2では、現時点の劣化損傷を考慮しても制限値を満足する結果となった。ただしCase3の劣化が進行する状況であれば制限値を満足しない結果となった。

G1, G2桁は現況でPC鋼材位置での塩化物イオン濃度が腐食発生限界を超過していることから、今後劣化が進行することが想定される。そこで、G1, G2桁の最下段PC鋼材がすべて腐食したと仮定した場合、変動荷重作用時、終局荷重時において制限値を満足しない結果となる。

以上より、将来的に耐力不足とならないように、現状の劣化状態を維持出来る対策を考慮することとした。

#### 6) 対策の検討

対策の基本的な考えを以下に示す。

- 現時点での耐力評価は制限値以内となっているが、解析計算上仮定を行った劣化状態や評価方法などの確実性を確かめる必要があるため、耐力評価の妥当性を確認する。
- 現状の劣化を悪化させない対策を実施する。
- 劣化進行が想定より早い箇所を早期に発見し、その箇所への抑制対策が適切に行えるように維持管理の見直しを実施する。

##### ①耐力評価結果の妥当性確認

- 専門家による妥当性の確認

解析計算上仮定した劣化状態、照査手法や耐力評価方法等について、専門家による妥当性の確認を行った。

- 荷重作用時のPC桁たわみ測定

劣化を伴う PC 桁において、解析計算上の挙動と実構造物での挙動を比較するために、現地でのたわみ計測を行った。計算結果から算出されるたわみ量と現地でトラッククレーンアウトリガー等の作用によるたわみ量を比較して、現地たわみが計算結果以上にならないことを確認した。なお、この値が計算結果以上となる場合は、解析計算上仮定した劣化状態の前提条件が現地で生じている劣化状態より健全であると判定してしまっている可能性が高いと考えられる。図-10.1.17 に現地たわみ計測の例を示す。この確認により、劣化想定と計算上の仮定が実現象より安全側であることの確認となる。



図-10.1.17 現地たわみ計測状況の例（リプレイサブル棧橋の場合）<sup>5)</sup>

### ②劣化抑制対策

#### ● 浮き部分の断面修復方法

コンクリートの浮き部分は、すでにプレストレスが抜けているものと考えられる。この部分の撤去を行い、露出した鋼材のさび落とし、防錆材を塗布した後、適切な接着剤を塗布し、ポリマーセメント系の材料で断面修復を行う。

#### ● 電気防食工

浸透してしまった塩化物イオンによって PC 鋼材の発錆を防止する目的と、浸透してしまった塩化物イオンと新たに補修した部分でのマクロセル腐食を防止するため、コンクリートの電気防食を実施する。電気防食工は PC 桁部分が気中であることと近隣から電源を確保可能であるために、外部電源方式で実施する。

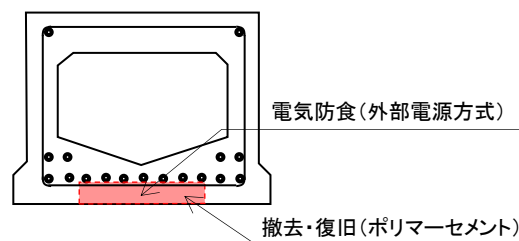


図-10.1.18 対策概念図

### ③維持管理対策

#### ● 維持管理スケジュールの見直し

一般定期点検診断の頻度を3年以内に1度に変更する。

目視及び打音調査の際には、断面修復(撤去・復旧箇所)部とその周辺の剥離、錆汁の有無、曲げひび割れなどについて注意を要する。PC 鋼材への外部電源方式の電気防食については過防蝕による水素脆化等の可能性もあるため、モニタリング装置による防食効果の確認を行う。対策直後の段階では防食効果が変動しやすいため、要因分析のために温度や湿度の季節的な変化の影響も記録・モニタリングすることが望ましい。詳細については電気化学的防食工法指針<sup>9)</sup>等を参照にされたい。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン【第1部 総論】，平成27年4月（令和2年3月一部変更）
- 2) （一財）沿岸開発技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，平成30年7月
- 3) （一財）沿岸開発技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，平成30年7月
- 4) 田中豊，川端雄一郎，加藤絵万，鈴鹿良和，河邊修作，中嶋道雄，石井豪，立神久雄，小笠原哲也：劣化したPC 栈橋上部工の構造性能に関する解析的検討，港湾空港技術研究所報告，Vol.60，No.3，pp.3-67，2021.12.
- 5) リプレイサブル栈橋の現地実証試験結果の技術的評価(加辺圭太郎ら)，沿岸技術研究センター論文集 No.20, 2020, p35
- 6) （公社）土木学会：電気化学的防食工法指針，コンクリートライブラリー157，令和2年10月



## 10.2 ケース 2

### (1) 構造物の概要

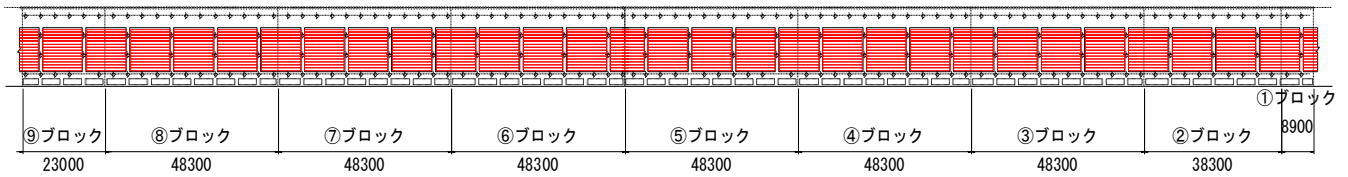
本ケースで検討している構造物の概要を表-10.2.1に示し、対象栈橋の構造一般図を図-10.2.1に、標準断面図を図-10.2.2に示す。

表-10.2.1 構造物の概要

構造物の形式		直杭式横栈橋	
上部工の形式		プレキャストPC桁(プレテンション方式ホロー桁)	
竣工年		1995年	
竣工からの経過年数		26年	
今後の予定供用期間		24年	
上部工使用材料	コンクリート	主桁	設計基準強度 50N/mm <sup>2</sup>
		間詰・連結部・受梁	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
	PC鋼材	主桁縦締め	SWPR7 1T12.4
		横桁横締め	SWPR19 1T19.3
鉄筋		SD345	
補修履歴		なし	

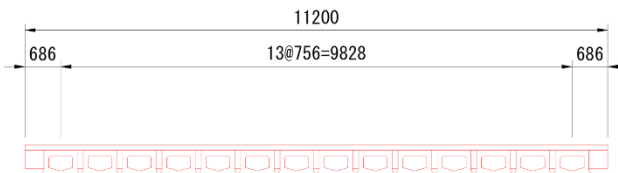
### 平面図

陸側

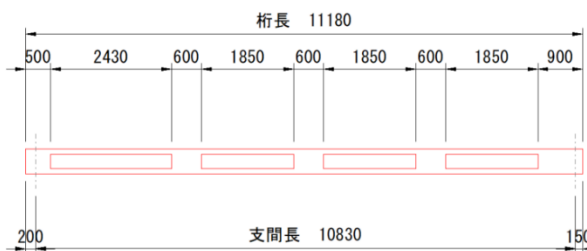


海側

### 断面図



### 側面図



### 主桁断面図

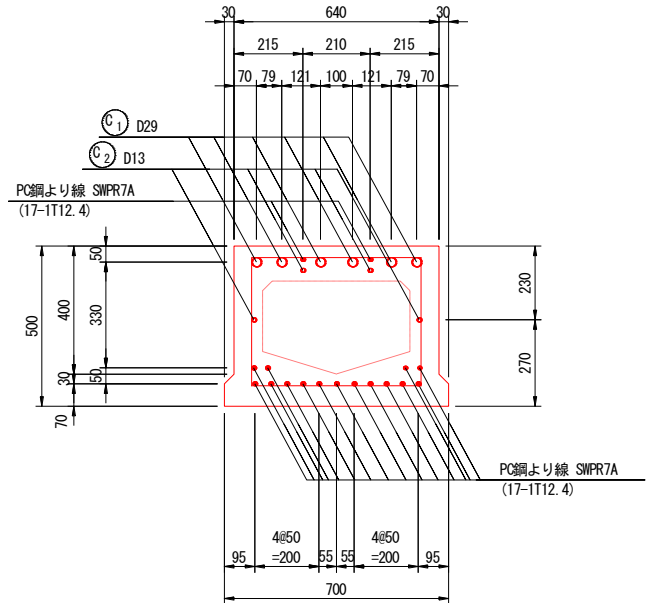


図-10.2.1 構造一般図

桁下端～H.W.L.の距離：約1.6m

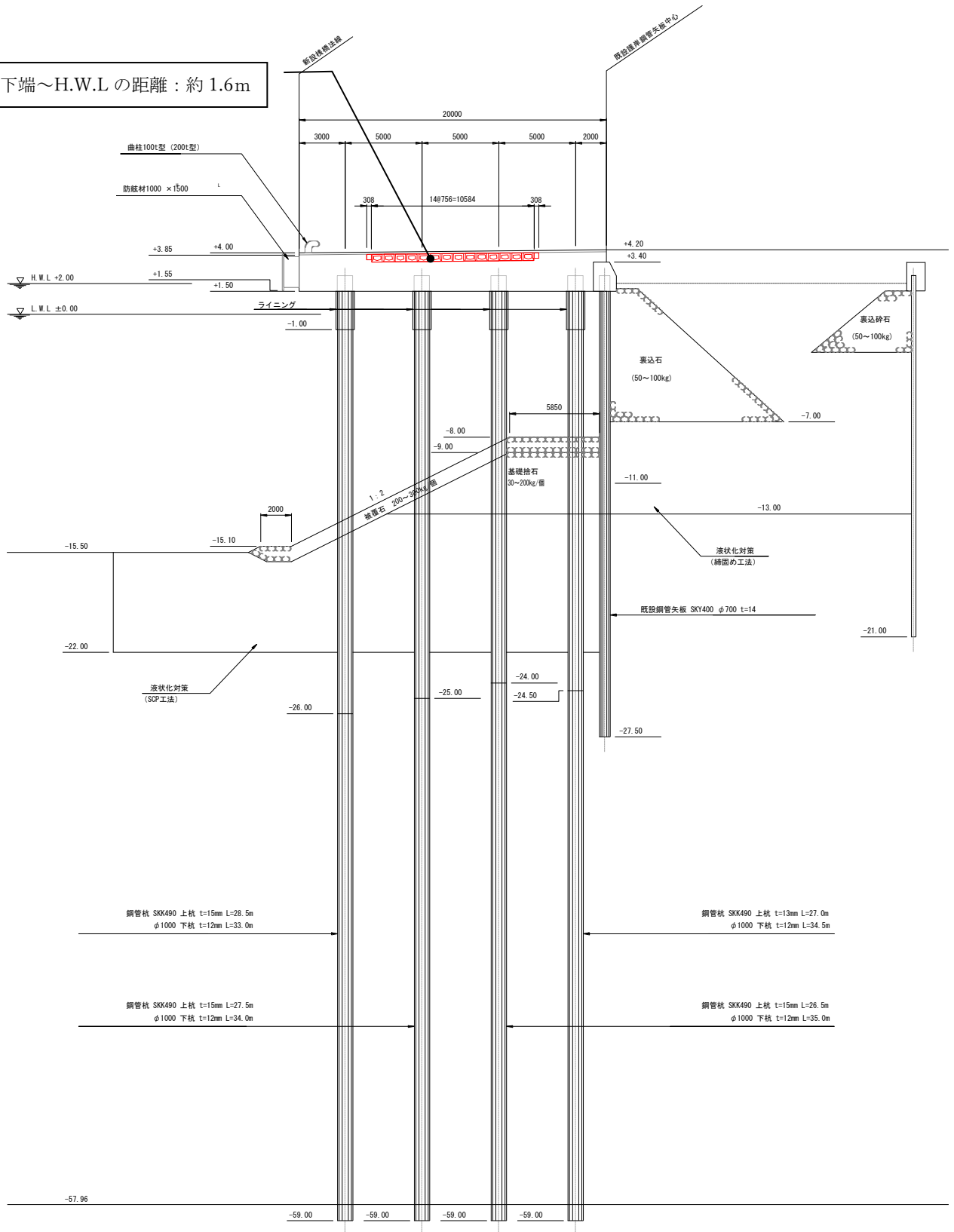


図-10.2.2 標準断面図

(2) 一般定期点検診断

一般定期点検診断の調査結果を下記に示す。

1) 点検診断の概要

- ・対象部材の環境条件：飛沫帯
- ・対象部材の維持管理レベル：[ I ]
- ・点検方法：外観観察（海上目視）

表-10.2.2 維持管理レベルと基本的な考え方<sup>1)</sup>

分類	損傷劣化に対する考え方	備考（旧呼称）
維持管理レベルⅠ	高水準の対策を事前に施す	事前対策型
維持管理レベルⅡ	性能低下を予防する	予防保全型
維持管理レベルⅢ	事後的に対処する	事後保全型

2) 点検結果

- ・プレキャスト PC 桁下面の一部分に、錆汁を伴う桁軸方向のひび割れが確認された。
- ・コンクリートの剥離や剥落は見られなかった。
- ・間詰め、横桁、舗装面に変状は見られなかった。

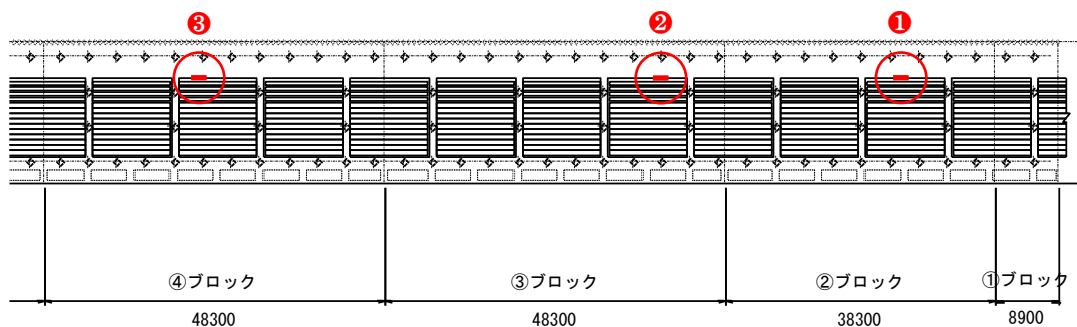


図-10.2.3 変状箇所



写真-10.2.1 変状発生状況

3) 劣化箇所の分類

港湾の施設の維持管理技術マニュアル<sup>2)</sup>を参考とし、「劣化度 a」と判定した。

表-10.2.3 劣化度判定

対象施設	点検項目		点検方法	判定基準案	
栈橋	上部工 (下面部)	コンクリートの劣化、 損傷(PCの場合)	目視 ・ひび割れの発生状況 ・錆汁の発生状況	a	<input checked="" type="checkbox"/> ひび割れがある。 <input checked="" type="checkbox"/> 錆汁がある。
				b	<input type="checkbox"/> ---
				c	<input type="checkbox"/> ---
				d	<input type="checkbox"/> 変状なし。

4) 性能判断の区分の分類

港湾コンクリート構造物補修マニュアル<sup>3)</sup>を参考とし、性能判断の区分を「区分Ⅲ」とした。

表-10.2.4 性能判断の区分<sup>3)</sup>に一部記載

劣化度	外観状況	性能判断 の区分	診断
a	PC桁下面にPC桁の部材軸方向のひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられるが、錆汁は確認できない。	区分Ⅱ	PC鋼材は腐食しておらず、当初の性能を有している。
	PC桁下面にひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられ、ひび割れからの錆汁の析出が確認できる。	区分Ⅲ	PC鋼材の外側にある鉄筋の腐食が進行している。今後、PC鋼材の腐食が進行する可能性があり、耐荷力の低下が懸念される。
	PC桁下面のPC鋼材の腐食が進行し、コンクリートの剥離、剥落が生じている。	区分Ⅳ	PC鋼材が著しく腐食しており、PC鋼材が破断している可能性がある。PC桁の耐荷力不足が懸念される。

(3) 構造物の性能判断の区分に応じた詳細点検診断の要否の判定

図-10.2.4のフローに従い、性能判断の区分「区分Ⅲ」に該当する詳細点検診断を実施した。

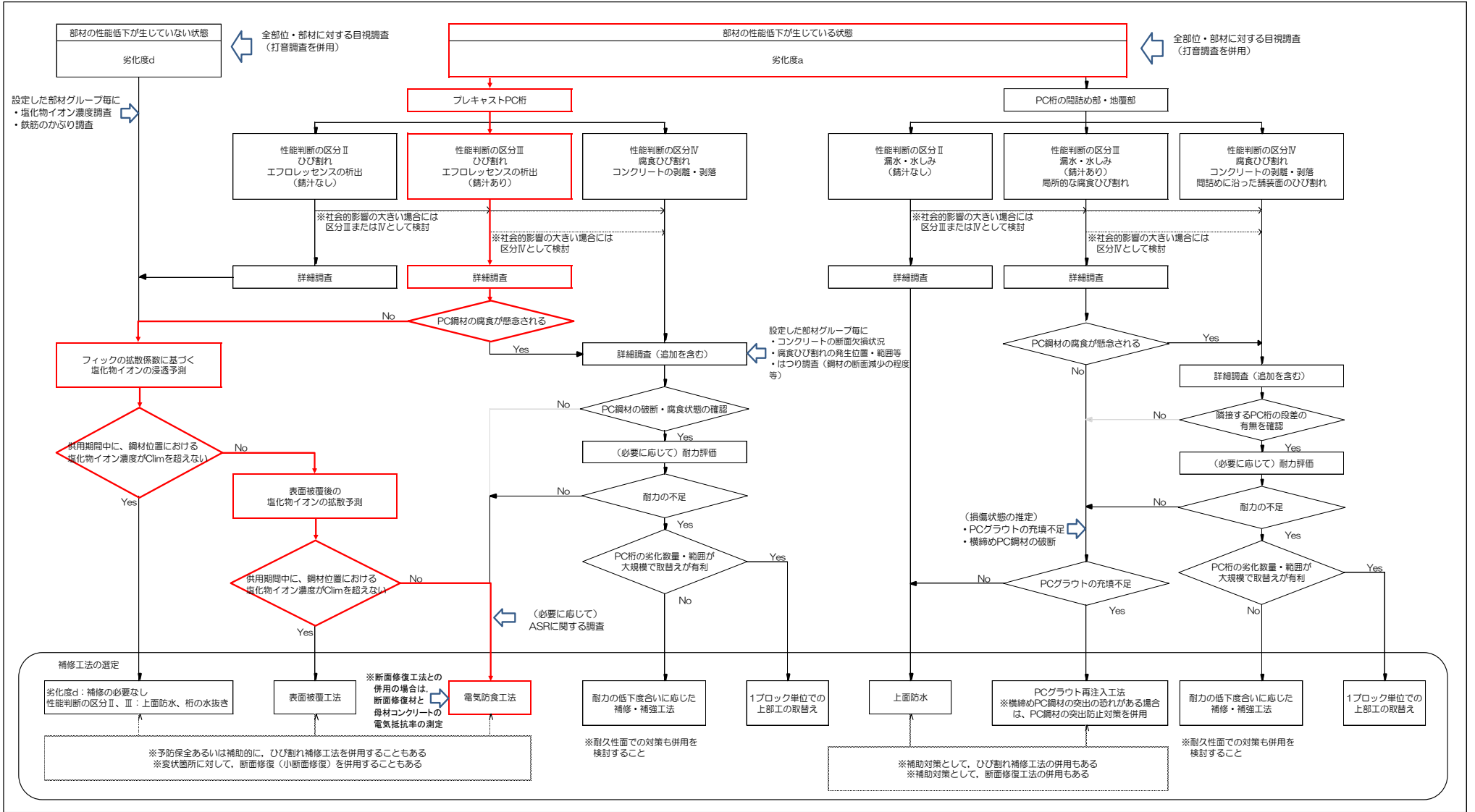


図-10.2.4 PC 栈橋上部工における標準的な補修・補強工法の選定フロー（案）

(4) 詳細臨時点検診断

上部工を対象として詳細臨時点検診断を実施した。点検診断の概要および結果を以下に示す。

1) 点検診断の概要

一般定期点検診断で把握した変状パターンに応じて、本手引き案の参考資料「調査方法の選定シート（案）ホロー桁：主桁本体その1」を参考にして調査項目を選定した。

・点検方法

①外観目視（打音調査併用）

- ・対象全体について、ひび割れ、錆汁、エフロレッセンス、うき剥離について、目視調査を実施した。
- ・対象をブロック毎に分類し、損傷程度を記録した。
- ・損傷の激しい箇所については打音調査を行い、浮き剥離、空洞の有無について調査した。

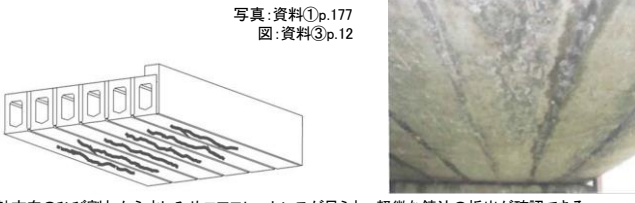
②塩化物含有量測定（ドリル法）

- ・錆汁の発生箇所および健全部について、ドリル法による塩化物イオン濃度測定を実施した。

③PC 鋼材腐食調査

- ・錆汁の発生箇所について、削孔による直接目視を実施した。

表-10.2.5 調査方法の選定シート

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ) 損傷レベル(低、中、高)	劣化要因・ 主な要因	必須調査(変状の把握)	
			外観目視・打音調査、 水の浸入、使用状況調査	
<p>【1.2 部材軸方向のひび割れ】</p> <p>写真:資料①p.177 図:資料③p.12</p>  <p>・部材軸方向のひび割れから水しみやエフロレッセンスが見られ、軽微な錆汁の析出が確認できる。</p>	<p><b>区分Ⅲ</b> (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、このまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塩害</li> <li>・ASR</li> <li>・初期欠陥</li> </ul>	<p>◎外観目視調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小型船や無人船による調査</li> <li>・変状全般</li> <li>・水しみ発生箇所</li> </ul>	<p>◎打音調査</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・浮き、剥離の有無</li> </ul>
			<p>◎防水層の有無</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設計図書の確認</li> </ul>	

劣化原因の推定		性能・機能評価				耐力評価 △耐荷試験
塩害調査	ASR調査	初期欠陥	非破壊調査	微破壊調査		
◎塩分測定 ・ドリル法	◎ひび割れ進展(幅、深さ、延長) ○ゲルの析出(コア表面の外観、光学・電子顕微鏡) △促進膨張試験(残存膨張量) △強度特性(圧縮強度、静弾性係数)	◎外観目視調査 ・小型船や無人船による調査  ◎打音調査 ・浮き、剥離の有無  △内部欠陥、浮き、豆板、空洞、漏水 ・サーモグラフィ法  △内部空洞 ・電磁波レーダ法	○鉄筋、PC鋼材の配置 ・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法  ○内部鋼材の腐食状況 ・自然電位法 ・分極抵抗法  △PC鋼材の破断 ・漏洩磁束法	○鉄筋腐食 ・はつり、削孔による直接目視  ○PC鋼材腐食 ・はつり、削孔による直接目視		

2) 点検結果

①外観目視（打音調査併用）より，上部工各ブロックの劣化度代表値を得た。

なお，錆汁を伴う PC 桁のひび割れ箇所については，剥離・剥落はなかった。

以下に点検結果を示す。

表-10.2.6 ブロック単位での劣化度

点検項目	点検診断項目 の分類	評価単位									評価個数の出現割合			
		1BL	2BL	3BL	4BL	5BL	6BL	7BL	8BL	9BL	a	b	c	d
上部工(下面) コンクリートの劣 化、損傷(PCの 場合)	I類	d	a	a	a	d	d	d	d	d	33%	0%	0%	67%

表-10.2.7 劣化数量

ブロック	部材 名称	ひび割れ			浮き	剥離	備考
		ひび割れ幅	延長	本数			
		(mm)	(m)	(本)			
2BL	G-1	0.1	0.40	1	なし	なし	
3BL	G-1	0.1	0.25	1	なし	なし	
4BL	G-1	0.1	0.40	1	なし	なし	

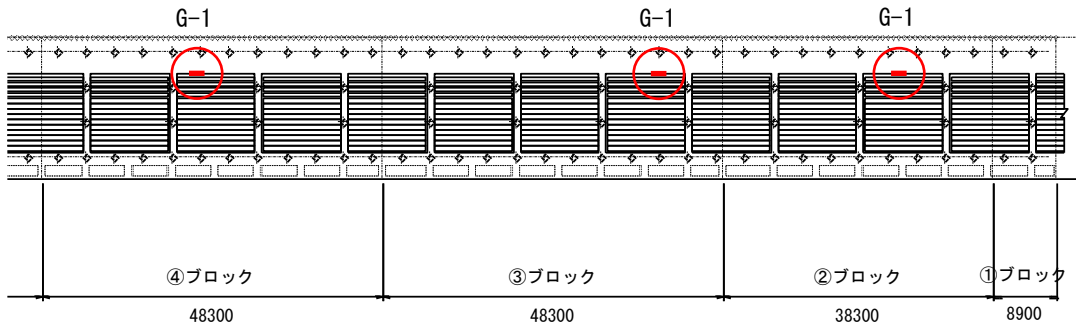


図-10.2.5 劣化分布図

②ドリル法による塩化物イオン含有量測定により，スターラップ位置およびPC鋼材位置での塩化物イオン濃度を実測した．以下に錆汁発生箇所および健全部での塩化物イオン濃度グラフを示す．

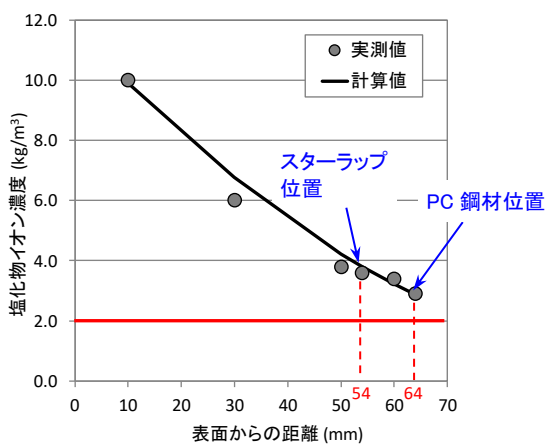


図-10.2.6 錆汁発生箇所での塩化物イオン濃度実測値

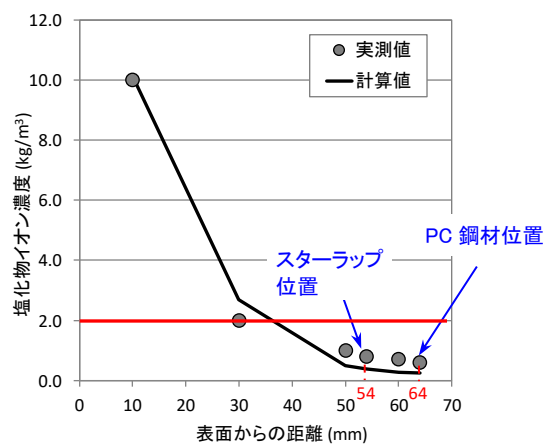


図-10.2.7 健全部での塩化物イオン濃度実測値

③削孔による直接目視を行い，錆汁付近の腐食状況を調査した．

錆汁発生箇所ではPC鋼材の腐食が確認されたものの，健全部については，腐食は確認されなかった．



写真-10.2.2 直接目視によるPC鋼材の腐食確認



(5) 評価

各点検結果による評価を以下に示す。

①外観目視（打音調査併用）

鋼材からの錆汁は確認できるが、その範囲は小さい。また、錆汁発生箇所における打音調査では剥離・剥落が認められなかったことから、コンクリート自体の損傷は軽微であると判断する。

②塩化物含有量測定（ドリル法）

錆汁発生箇所における塩化物イオン濃度は、図-10.2.6 で示したとおり、PC 鋼材位置で鋼材の腐食発生限界イオン濃度を超過しており、今後も浸透していくものと推測できる。このため、主桁コンクリートの健全性を評価するために、ドリル法による塩分調査結果をもとに、健全部における塩化物イオン濃度分布の進展を予測した。その結果、健全部については残存予定供用期間中において、スターラップ位置および PC 鋼材位置で腐食発生限界イオン濃度を超過することはないと想定できた。以下に、供用期間（50 年）における健全部での塩化物イオン浸透予測を示す。

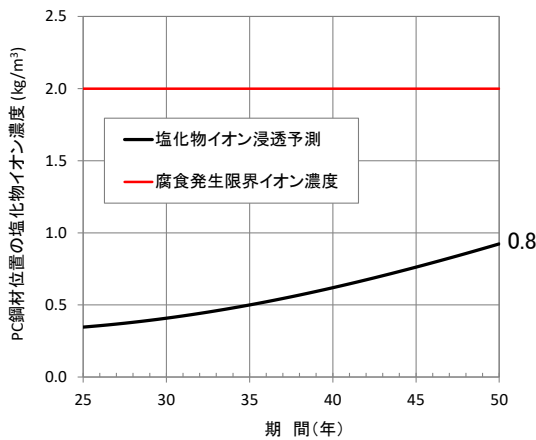


図-10.2.8 PC 鋼材位置での塩化物イオン浸透予測

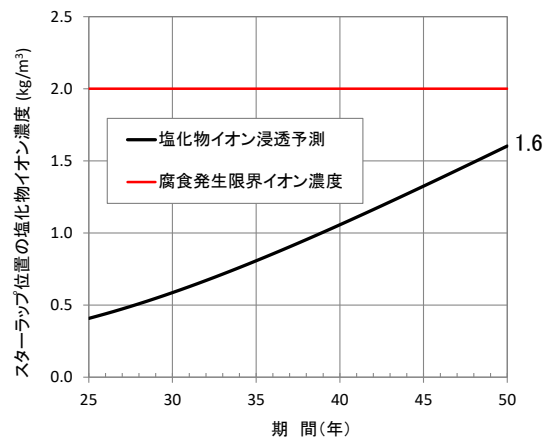


図-10.2.9 スターラップ位置での塩化物イオン浸透予測

③PC 鋼材腐食調査

錆汁発生箇所における PC 鋼材の腐食範囲は限定的ではあるが鋼材の腐食発生限界イオン濃度を超過しているため、今後も腐食が進行していくものと推測できる。しかし、健全部においては発錆がないことから急激な腐食の進行はないものと推測できる。

<原因の推定>

本構造物におけるホロー桁は、1991 年（平成 3 年）の JIS A 5313 への改正以前の断面であり、内型枠下ハンチ部の角度が改正後の断面に比べて緩やかな形状である。PC 桁の錆汁は、主桁製作当時のハンチ部下の充填不足に起因して PC 鋼材位置まで塩分が浸透し、腐食発生限界イオン濃度を超過たことで発生したものと推測できる。なお、錆は点錆程度であり PC 鋼材の断面減少は確認されなかった。

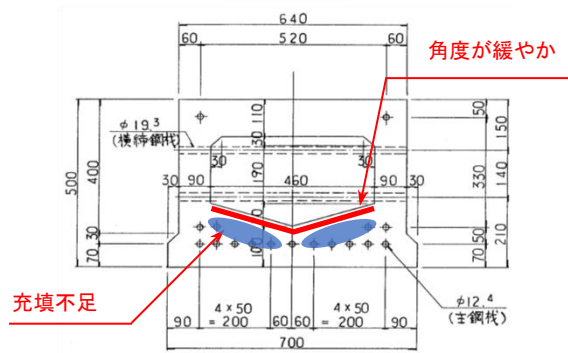


図-10.2.10 JIS 改訂前のホロー桁断面形状

## (6) 対策の選定

詳細点検結果から、図-10.2.5 に示したとおり、PC 鋼材腐食箇所は各ブロックに点在しており、鋼材位置までの塩分浸透も認められるがその範囲は限定される。また、ドリル法による直接目視においては PC 鋼材の腐食（発錆）は殆ど認められなかった。健全部においては、図-10.2.8 および図-10.2.9 に示したとおり、残存予定供用期間中にスターラップ位置および PC 鋼材位置で腐食発生限界イオン濃度を超えることはない想定される。このため、補修対策工法としては劣化損傷部の鋼材腐食を抑制する「電気化学的防食工法（犠牲陽極工法）＋断面修復工法」を適用する。

## (7) 対策後の維持管理

### 1) 点検

- ・鋼材の防食効果の確認を行う必要があるため、工法に適合した方法や頻度で点検を実施する。
- ・点検により異常が発見された場合は、詳細点検による評価・判定を実施する。

### 2) 維持管理計画の更新

- ・劣化の進行状況により、維持管理計画などを必要に応じて更新、見直しを行う。
- ・対策後の点検で得られたデータや情報は、適切に記録し保存する。

## 参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン【第1部 総論】，平成27年4月（令和2年3月一部変更）
- 2) 沿岸開発技術研究センター：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，平成30年7月
- 3) 沿岸開発技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，平成30年7月

10.3 ケース3

(1) 構造物の概要

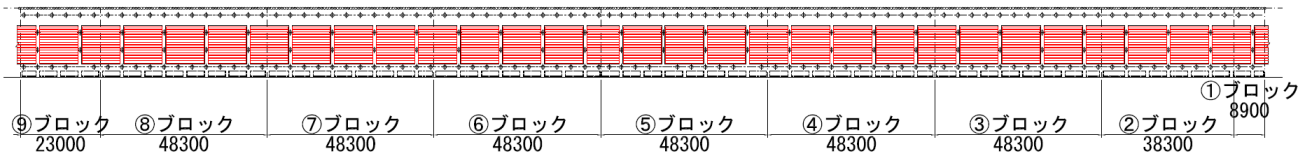
構造物の概要および構造一般図を以下に示す。

表-10.3.1 構造物の概要

構造物の形式		直杭式横棧橋	
上部工の形式		プレキャストPC桁(プレテンション方式ホロー桁)	
竣工年		1995年	
竣工からの経過年数		26年	
今後の予定供用期間		24年	
上部工使用材料	コンクリート	主桁	設計基準強度 50N/mm <sup>2</sup>
		間詰・連結部・受梁	設計基準強度 30N/mm <sup>2</sup>
	PC鋼材	主桁縦締め	SWPR7 1T12.4
		横桁横締め	SWPR19 1T19.3
鉄筋		SD345	
補修履歴		なし	

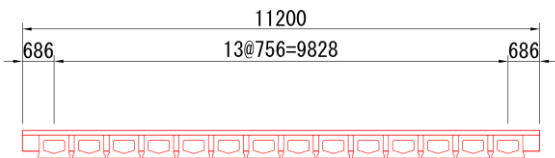
平面図

陸側

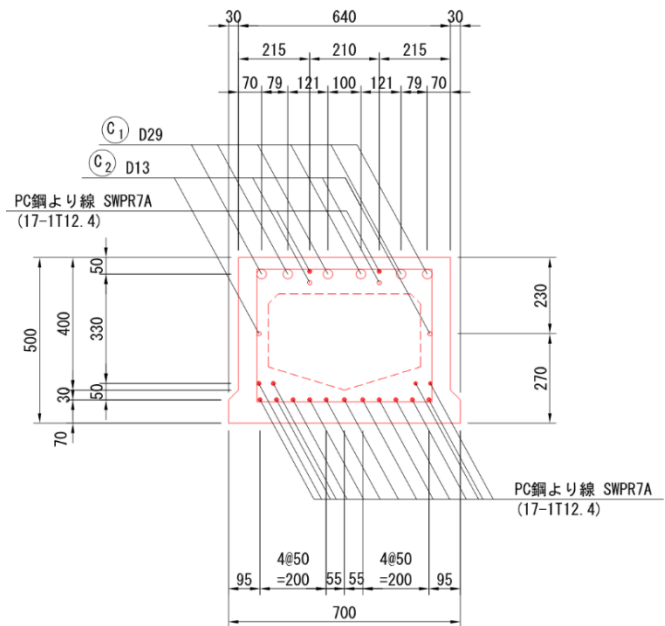


海側

断面図



主桁断面図



側面図

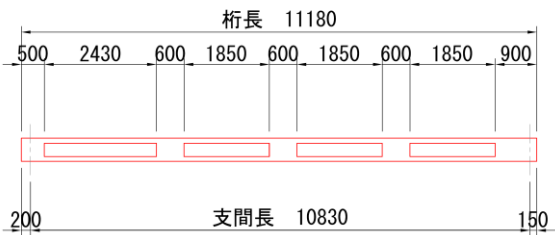


図-10.3.1 構造一般図

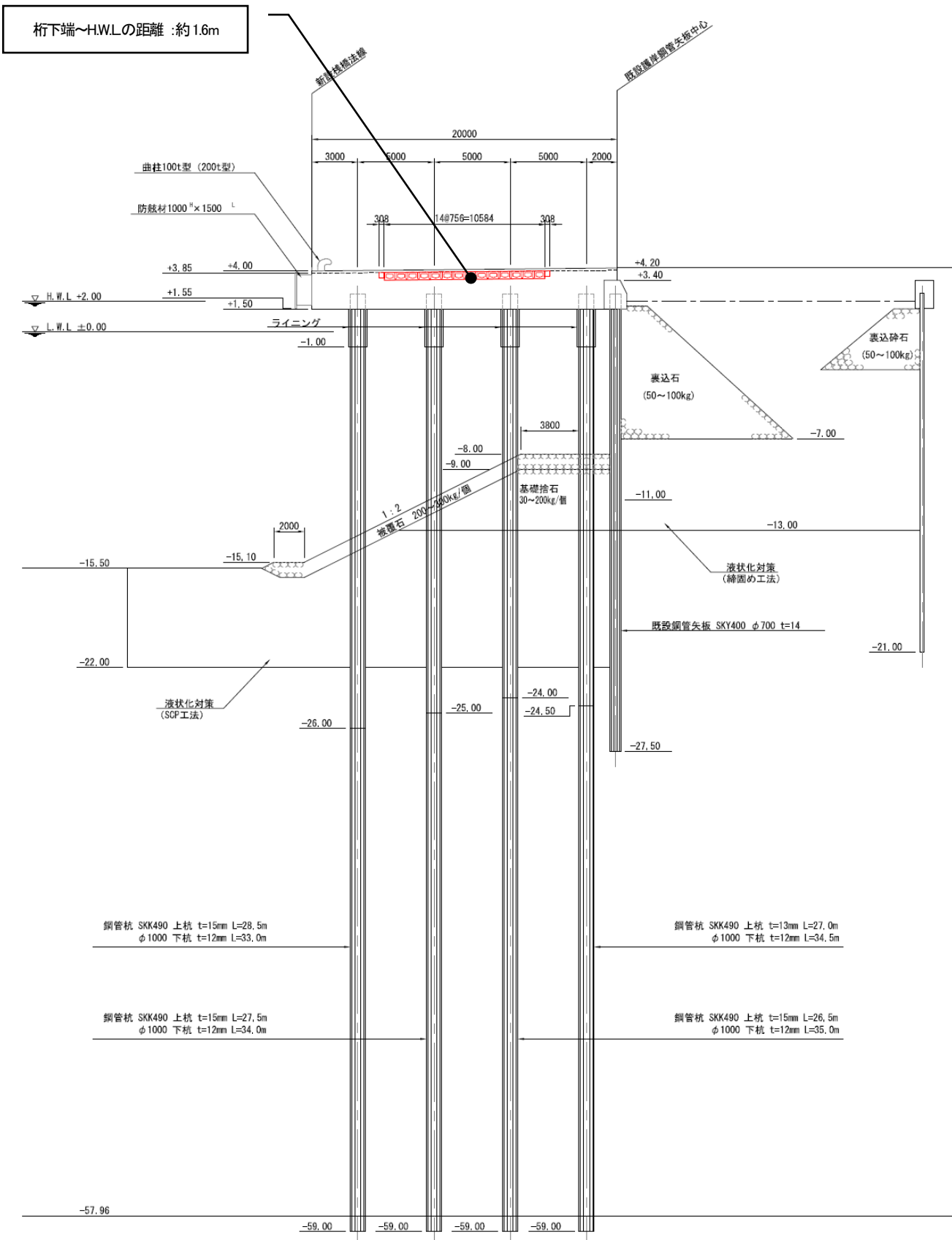


図-10.3.2 標準断面図

(2) 一般定期点検診断

一般定期点検診断の概要および調査結果を以下に示す。

1) 点検診断の概要

- 対象部材の環境条件：飛沫帯
- 対象部材の維持管理レベル：[ I ]
- 点検方法：外観観察（海上目視）

表-10.3.2 維持管理レベルと基本的な考え方<sup>1)</sup>

分類	損傷劣化に対する考え方	備考（旧呼称）
維持管理レベルⅠ	高水準の対策を事前に施す	事前対策型
維持管理レベルⅡ	性能低下を予防する	予防保全型
維持管理レベルⅢ	事後的に対処する	事後保全型

2) 点検結果

- プレキャストPC桁底面に、錆汁を伴う部材軸直角方向のひび割れが確認された。
- コンクリートの剥離や剥落は見られなかった。
- 間詰め、横桁、舗装面に変状は見られなかった。

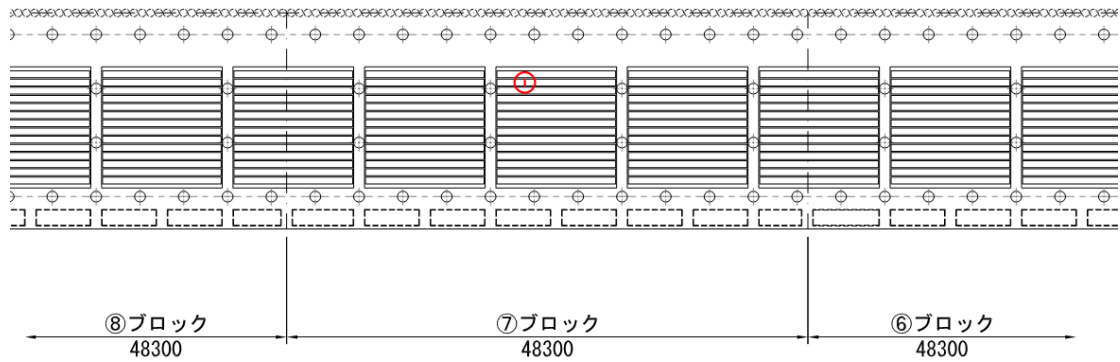


図-10.3.3 変状箇所

3) 変状箇所の分類

「港湾の施設の点検診断ガイドライン」<sup>2)</sup>を参考とし、「劣化度 a」と判定した。

表-10.3.3 劣化度判定

点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準
上部工 (下面部) (PCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れの発生状況 ・錆汁の発生状況	a <input type="checkbox"/> ひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁がある。
			b <input type="checkbox"/> ---
			c <input type="checkbox"/> ---
			d <input type="checkbox"/> 変状なし。

4) 性能判断の区分の分類

「港湾コンクリート構造物補修マニュアル」<sup>3)</sup>を参考とし、性能判断の区分を「区分Ⅲ」とした。

表-10.3.4 性能判断の区分<sup>3)</sup>に一部記載

劣化度	外観状況	性能判断の区分	診断
a	PC桁下面にPC桁の部材軸方向のひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられるが、錆汁は確認できない。	区分Ⅱ	PC鋼材は腐食しておらず、当初の性能を有している。
	PC桁下面にひび割れや水しみおよびエフロレッセンスがみられ、ひび割れからの錆汁の析出が確認できる。	区分Ⅲ	PC鋼材の外側にある鉄筋の腐食が進行している。今後、PC鋼材の腐食が進行する可能性があり、耐荷力の低下が懸念される。
	PC桁下面のPC鋼材の腐食が進行し、コンクリートの剥離、剥落が生じている。	区分Ⅳ	PC鋼材が著しく腐食しており、PC鋼材が破断している可能性がある。PC桁の耐荷力不足が懸念される。

(3) 構造物の性能判断の区分に応じた詳細臨時点検診断の要否の判定

図-10.3.4のフローに従い、「区分Ⅲ」に該当する詳細臨時点検診断を実施した。

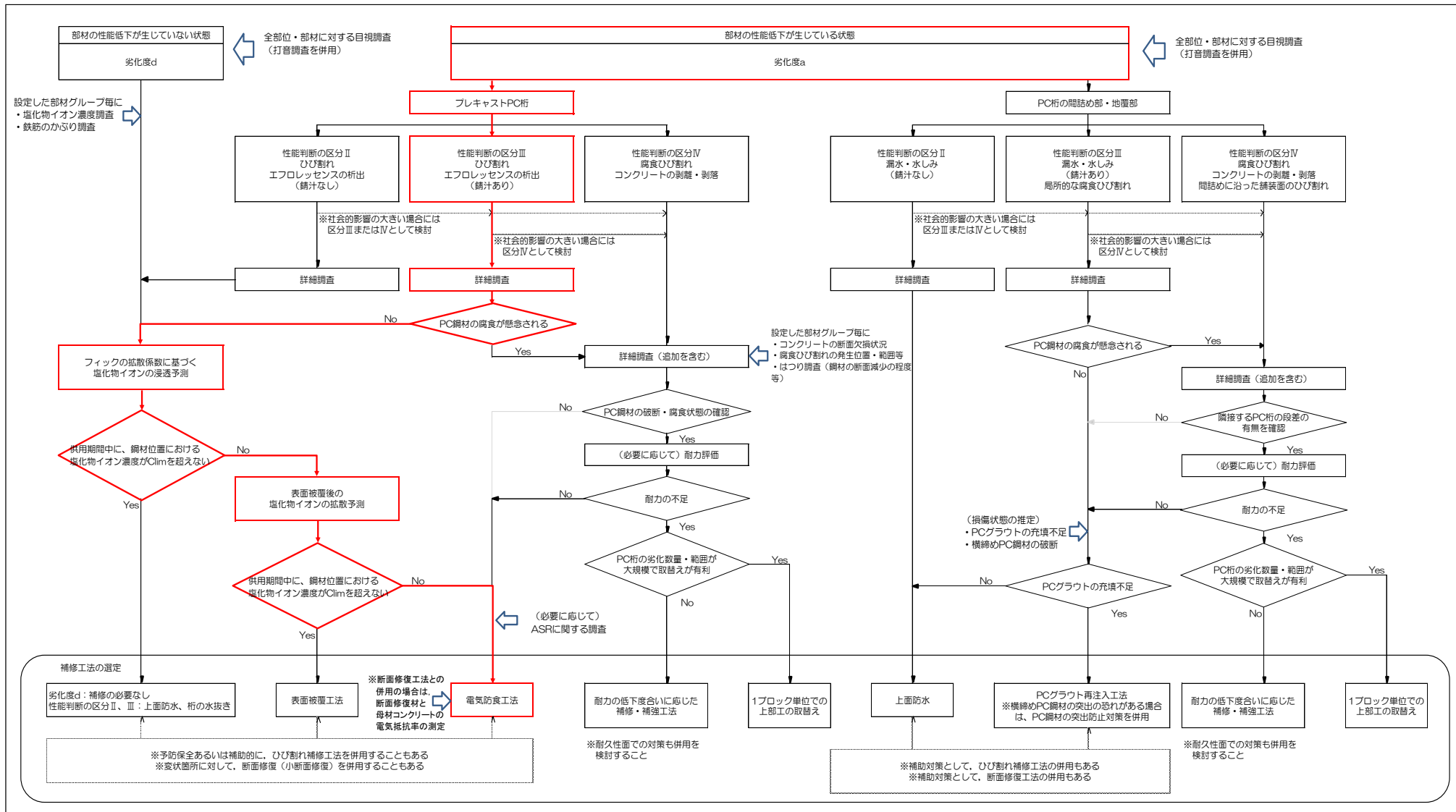


図-10.3.4 PC 橋橋上部工における標準的な補修・補強工法の選定フロー（案）

(4) 詳細臨時点検診断

上部工を対象として詳細臨時点検診断を実施した。点検診断の概要および結果を以下に示す。

1) 点検診断の概要

一般定期点検で把握した変状パターンに応じて、本マニュアル表-4.8を参考にして調査項目を選定した。

ここでは、ひび割れの発生方向が桁直角方向で、支間1/4付近に発生しており曲げモーメントが卓越する箇所ではないため、曲げひび割れの可能性は低いものと推測し、変状パターンとして【②部材軸直角方向のひび割れ】を選択した。

①外観目視(打音調査併用)

- ・対象全体について、ひび割れ、錆汁、エフロレッセンス、浮き・剥離について、目視調査した。
- ・対象をブロック毎に分類し、損傷程度(劣化度)を整理した。
- ・損傷の激しい箇所については打音調査を行い、浮き・剥離、空洞の有無について調べた。

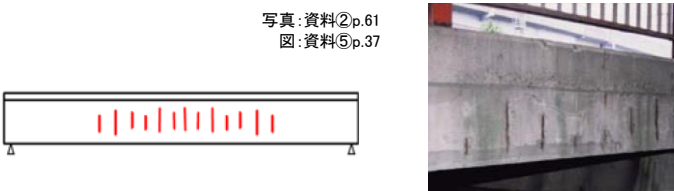
②塩化物含有量測定(ドリル法)

錆汁の発生箇所および健全全部について、ドリル法による塩分測定を実施した。

③鉄筋・PC鋼材腐食調査

錆汁の発生箇所について、削孔による直接目視を実施した。

表-10.3.5 調査方法の選定シート(案)[ホロー桁：主桁本体]

変状パターン・外観目視状況	性能判断の区分 (区分Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ) 損傷レベル(低、中、高)	劣化要因・ 主な要因	必須調査(変状の把握)	
			外観目視・打音調査、 水の浸入、使用状況調査	
<p>【2.2 部材軸直角方向のひび割れ】 (かぶり不足などが要因で主桁底面に発生)</p> <p>写真：資料②p.61 図：資料⑤p.37</p>  <p>・部材軸直角方向に大きなひび割れや錆汁が見られ、部分的なコンクリートの剥離剥落(鉄筋の露出)が認められる。</p>	<p>区分Ⅲ (参考) 劣化により耐久性が低下していると認められるが、まだ耐荷性はほとんど低下していないと考えられるもので、そのまま放置すると劣化が進行し、耐荷性の低下が懸念されるもの。</p>	<p>・鉄筋のかぶり不足による塩害 ・初期欠陥</p>	<p>◎外観目視調査</p>	<p>・小型船や無人船による調査 ・変状全般 ・水しみ発生箇所</p>
			<p>◎打音調査</p>	<p>・浮き、剥離の有無</p>
			<p>◎防水層の有無</p>	<p>・設計図書の確認</p>

劣化原因の推定			性能・機能評価					
塩害調査		ASR調査	初期欠陥		非破壊調査	微破壊調査		
◎塩分測定	・ドリル法	該当なし	◎外観目視調査	・小型船や無人船による調査	○鉄筋、PC鋼材の配置	・電磁誘導法 ・電磁波レーダ法	○鉄筋腐食	・はつり、削孔による直接目視
			◎打音調査	・浮き、剥離の有無	○内部鋼材の腐食状況	・自然電位法 ・分極抵抗法		
					△PC鋼材の破断	・漏洩磁束法	△PC鋼材腐食	・はつり、削孔による直接目視



2) 点検結果

①外観目視(打音調査併用)

外観目視を行い、劣化の分布状況を記録し、ブロック単位での劣化度代表値を求めた。

以下に点検結果を示す。コンクリートの浮き・剥落などの変状については、発錆箇所も含め、確認されなかった。

表-10.3.6 ブロック単位での劣化度

点検項目		点検診断項目 の分類	評価単位									評価個数の出現割合			
			1BL	2BL	3BL	4BL	5BL	6BL	7BL	8BL	9BL	a	b	c	d
上部工(下面)	コンクリートの劣化、損傷(PCの場合)	I類	d	d	d	d	d	d	a	d	d	11%	0%	0%	89%

表-10.3.7 劣化数量

ブロック	部材 名称	ひび割れ			浮き	剥離	備考
		ひび割れ幅	延長	本数			
		(mm)	(m)	(本)			
7BL	G-2	0.1	0.50	1	なし	なし	

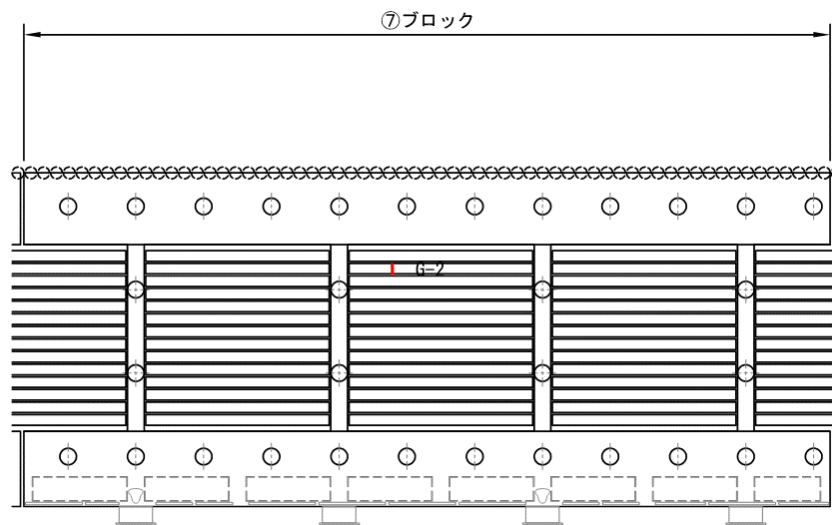


図-10.3.5 劣化分布図

②塩化物含有量測定（ドリル法）

ドリル法により、劣化部（錆汁発生箇所近傍）および健全部において塩化物含有量を測定した。図-10.3.6のとおり、劣化部は健全部に比べ塩分浸透が進行していることを確認した。また、調査結果をもとに、表面における塩化物イオン濃度(C<sub>0</sub>)および見かけの拡散係数(D<sub>ap</sub>)を推定した。

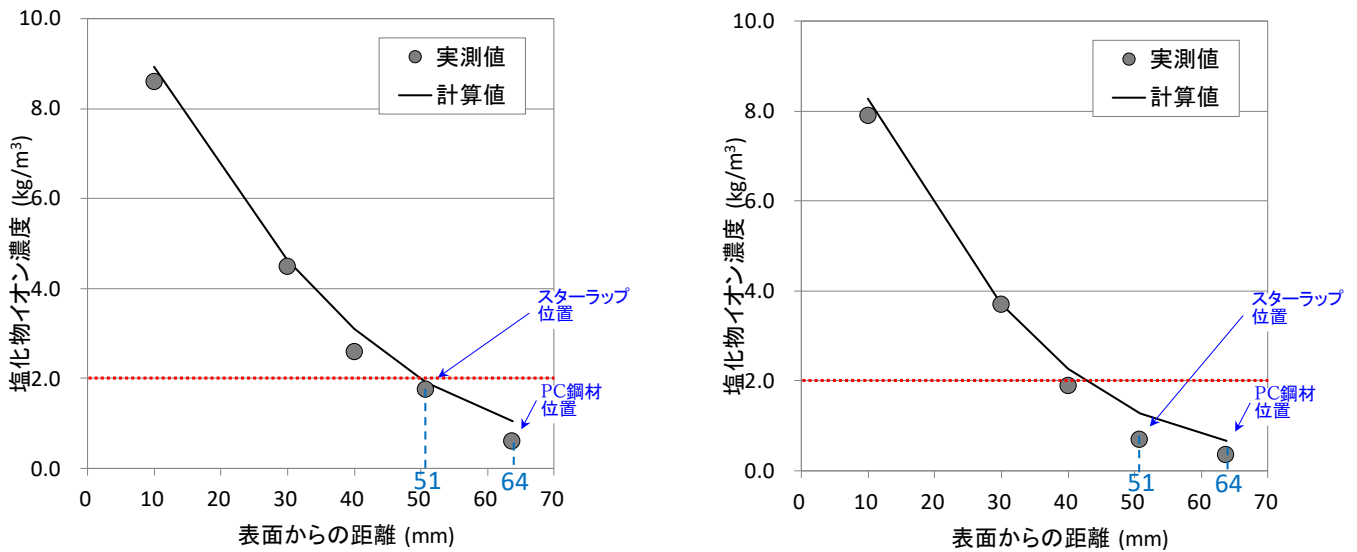


図-10.3.6 塩分濃度測定結果(左：劣化部, 右：健全部)

表-10.3.8 表面における塩化物イオン濃度および拡散係数の推定値

ブロック	部材名称	推定結果		備考
		C <sub>0</sub>	D <sub>ap</sub>	
		(kg/m <sup>3</sup> )	(cm <sup>2</sup> /年)	
7BL	G-2	11.2	0.23	劣化部
7BL	G-2	10.8	0.17	健全部

③鉄筋・PC鋼材腐食調査

削孔による直接目視を実施した結果、スターラップが腐食していたが、PC鋼材の腐食は確認されなかった。観察結果からは、スターラップの断面減少はごくわずかであると判断された。

また、錆汁発生箇所のスターラップについて、鉄筋かぶりが規定値(設計図面から読み取った純かぶり)を下回っていることを確認した。

表-10.3.9 鉄筋かぶり測定結果

ブロック	部材名称	部位	鉄筋かぶり		備考
			測定値	規定値	
			(mm)	(mm)	
7BL	G-2	下面スターラップ位置	49.0	50.8	劣化部

## (5) 評価

### 1) 劣化原因の推定

詳細臨時点検では、以下の情報がえられた。

- ・スターラップが腐食しているが、PC 鋼材の腐食は認められない。
- ・発錆箇所において、スターラップのかぶり不足を確認した。
- ・錆汁が発生している箇所では、塩分浸透が進行していた。
- ・ひび割れ発生箇所が支間中央ではなく、曲げモーメントに起因するひび割れとは考えにくい。

以上のことから、ひび割れの原因は、塩分の浸透により、かぶりが不足しているスターラップが発錆したことによるものと推測した。

### 2) 評価

#### ①点検結果に基づく評価

- ・コンクリートの浮き・剥落がないことから、コンクリート自体の劣化進行は軽微である。
- ・すでに発錆しているスターラップは、今後も腐食が進行する可能性が高い。また近接する PC 鋼材にも悪影響を及ぼす可能性がある。
- ・外観上は健全な PC 桁についても、波当たりの著しい場所にある場合、今後塩害が進行する可能性がある。

#### ②性能評価

- ・耐久性の評価：塩分測定結果に基づき、PC 鋼材位置での塩化物イオン濃度の予測を行った結果、供用期間中に限界濃度に達することが予測された。耐久性能の低下が懸念されるため、対策を要する。

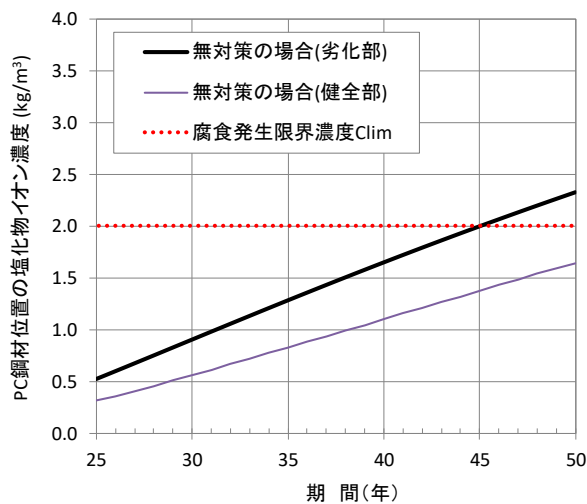


図-10.3.7 塩分浸透予測結果(無対策)PC 鋼材位置

- ・耐荷力の評価：スターラップの断面がわずかに減少していることを確認したが、大きなせん断力が作用する箇所ではないため、現状では耐力上は問題ないものと評価した。

以上により、主に耐久性の向上を目的とした補修対策が必要であると考えられる。

## (6) 対策の選定

### 1) 耐久性の検討

- ・表面被覆工法を実施した場合について、塩化物イオン濃度の予測を実施した。その結果、発錆箇所については、供用期間中にスターラップ位置での濃度が限界値に達することが予測される。
- ・よって、表面被覆工法による対策では不十分であり、**図-10.3.4**のフローから、電気防食工法が有力である。

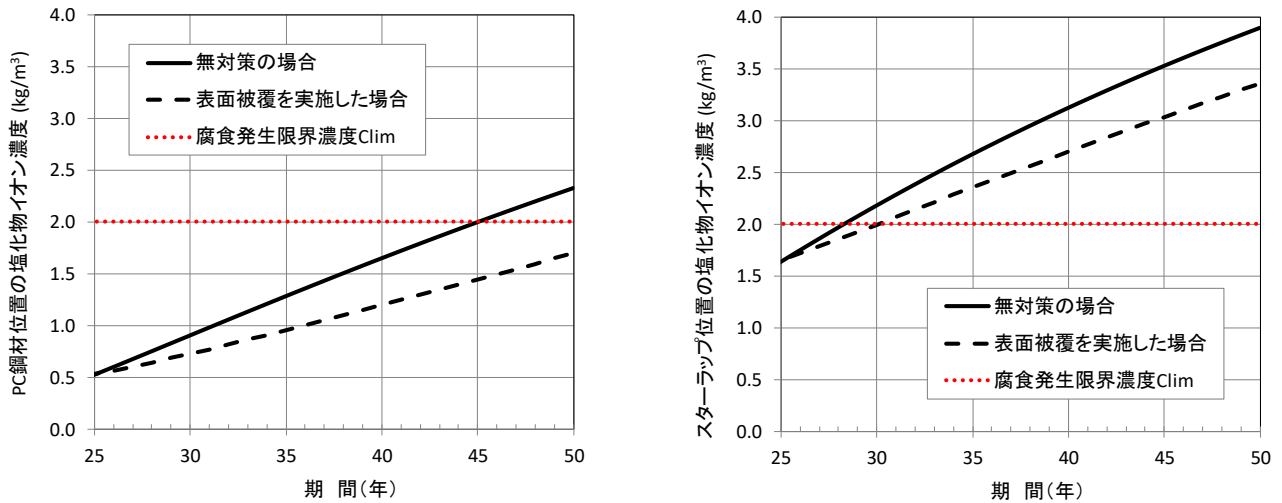


図-10.3.8 塩分浸透予測結果(無対策/表面被覆, 左: PC鋼材位置, 右: スターラップ位置)

### 2) 適用性の確認

施工履歴調査の結果、PC桁にはASRの反応性がない骨材を使用していることを確認した。したがって、電気防食工法の導入によりASRが助長される可能性は低い。

### 3) 対策の選定

- ・耐久性、適用性について検討した結果、電気防食工法を選定した。
- ・外部からの電気の供給が可能であることから外部電源方式とし、栈橋上部工のはりにおいて実績の豊富な線状陽極方式を選定した。
- ・日常的な点検が困難であることから、防食性能を常時監視できるモニタリング装置およびデータ通信設備を設置した。

### 4) 補修方針の設定

補修方針は以下のように設定した。

- ・工法に期待する効果： 供用期間中に鉄筋の腐食を進行させないこと。
- ・工法に期待する耐用期間： 24年以上(残存する供用期間)
- ・補修工事の実施単位： 桁単位
- ・補修工事の優先順位： かぶり不足が確認された桁、劣化の著しい桁を優先とする。

## (7) 対策後の維持管理

### 1) 対策後の点検

PC 栈橋上部工の点検の方法は、本手引き(案) **9.2 対策後の点検**における記載を参考に実施する。また、次の点に留意する。

- ・「電気化学的防食工法指針」<sup>4)</sup>を参考に、点検項目や項目ごとの実施者、初期点検の時期を定める。
- ・モニタリングによって得られる測定値は、定期的に記録する。
- ・今回対策工を行わなかった PC 桁が今後同様の劣化を生じる可能性もあるため、点検頻度を増やすなどの検討を行う。

### 2) 維持管理計画の改訂

#### ①点検診断計画

点検診断計画においては、PC 栈橋上部工に対する点検計画を、上記の 1) 対策後の点検に記載した内容に変更した。

#### ②参考資料

詳細点検時の点検結果や劣化予測データ、補修工事の記録等を参考資料として保存した。

## 参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン【第1部 総論】，平成27年4月（令和2年3月一部変更）
- 2) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン【第2部 実施要領】，平成26年7月（令和3年3月一部変更）
- 3) (一財)沿岸技術研究センター：港湾コンクリート構造物補修マニュアル，平成30年7月
- 4) (公社)土木学会：電気化学的防食工法指針，コンクリートライブラリー157，令和2年10月

## 11. PC構造物の高耐久化技術

### 11.1 一般

PC橋は、一般の鉄筋コンクリート構造物と比べて圧縮強度が高く、耐久性に優れるコンクリートが使用されている。また、引張強度が高いPC鋼材を使用してコンクリートに圧縮力を与えひび割れを制御するため、適切に設計・施工・維持管理を行えば、きわめて高品質で耐久性に優れた構造物とすることが可能となる。しかしながら、ごく一部のPC構造物ではグラウト施工が不適切なために劣化が認められている。また、非常に過酷な環境で共用されているPC構造物では、補修や補強対策を講じなければならない事例も存在する。

近年では、PC鋼材の防錆方法・定着工法や繊維強化ポリマー（FRP）などの要素技術の改良・発展には目覚ましいものがあり、より信頼性の高い構造物の構築が可能となってきている。

本章では、PC橋に適用されている高耐久化技術（表-11.1.1参照）を示す。これらの高耐久性技術はPC橋の高耐久化にも適用できる可能性があるので参考にされたい。

表-11.1.1 PC構造物の高耐久化技術

高耐久化技術
1. エポキシ樹脂塗装鉄筋
2. ステンレス鉄筋
3. エポキシ樹脂被覆・塗装PC鋼材
4. プレグラウトPC鋼材
5. 非鉄シース
6. 連続繊維補強材
7. 高炉スラグ微粉末
8. フライアッシュ
9. マルチレイヤプロテクション

### 11.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋

エポキシ樹脂塗装鉄筋とは、エポキシ樹脂で表面を塗装した鉄筋である。エポキシ樹脂塗装は、エポキシ樹脂塗料を静電粉体塗装によって、前加熱した鉄筋に付着させ、高膜厚を作ることで鉄筋を保護し、コンクリート構造物の早期劣化を防ぐ塗装技術である。写真-11.2.1にプレキャストPC床版におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋の組立状況を示す。

以下に、エポキシ樹脂塗装鉄筋の効果・特徴を示す。

- ・ 塩害対策区S地区などの厳しい腐食環境下で耐久性を向上させることができる。
- ・ 塗装表面を粗面仕上げ等を行うことで付着性能の高い仕様にも対応できる。

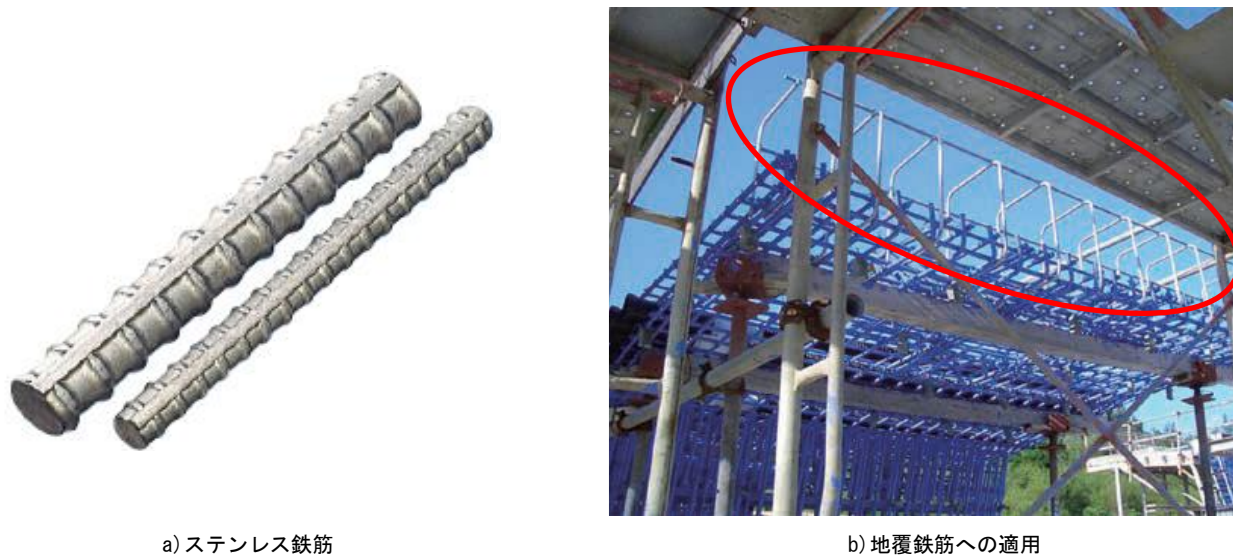


写真-11.2.1 エポキシ塗装鉄筋の組立状況（プレキャストPC床版）

### 11.3 ステンレス鉄筋

ステンレス鉄筋は、ステンレス鋼から普通鉄筋と同様の形状を有するように熱間圧延によって製造されたものである。ステンレス鋼はクロムを質量比で10.5%以上含有した合金鋼でありクロムの薄い酸化物によって優れた耐食性を有する。この特性を利用し、コンクリート用補強鋼材に使用することで、海洋構造物など厳しい腐食性環境下のコンクリート構造物の耐久性を大きく向上させることができる。

ステンレス鉄筋を用いる場合は、「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）」<sup>1)</sup>等を参考にすると良い。写真-11.3.1にステンレス鉄筋の適用事例を、表-11.3.1に腐食発生限界塩化物イオン濃度（推奨値）を示す。



a) ステンレス鉄筋

b) 地覆鉄筋への適用

写真-11.3.1 ステンレス鉄筋<sup>2)</sup>

表-11.3.1 腐食発生限界塩化物イオン濃度（推奨値）

ステンレス鉄筋の種類	腐食発生限界 塩化物イオン濃度 (推奨値) (kg/m <sup>3</sup> )
SUS304-SD	15
SUS316-SD	24
SUS410-SD	9

### 11.4 エポキシ樹脂被覆・塗装 PC 鋼材

エポキシ樹脂被覆・塗装PC鋼材とは、樹脂でコーティングすることにより防食性能を付与したPC鋼材である。エポキシ系樹脂被覆PC鋼材の種類は、9.3mm・12.7mm・15.2mm・15.7mm・17.8mm・19.3mm・21.8mm の8種類がある。15.2mm以上の太径のものは高強度PC鋼材仕様となっているものもある。PC鋼材の種類は製造メーカーにより異なるため、適用の際はメーカーに確認するのがよい。また、コンクリートとの付着強度は一般のPC鋼材よりも小さいため、付着が必要な場合には樹脂表面にケイ砂などをまぶして付着強度を改善したものをを用いる。写真-11.4.1にエポキシ樹脂被覆・塗装PC鋼材の種類を示す。

以下に、エポキシ樹脂塗装鉄筋の効果・特徴を示す。

- ・ 塩害対策区分S地区などの厳しい腐食環境下で耐久性を向上させることができる。
- ・ PE被覆型は紫外線を直接受ける部位での適用が可能となる。
- ・ 付着型は塩害地域のプレテンション用および内ケーブルへの適用が可能となる。

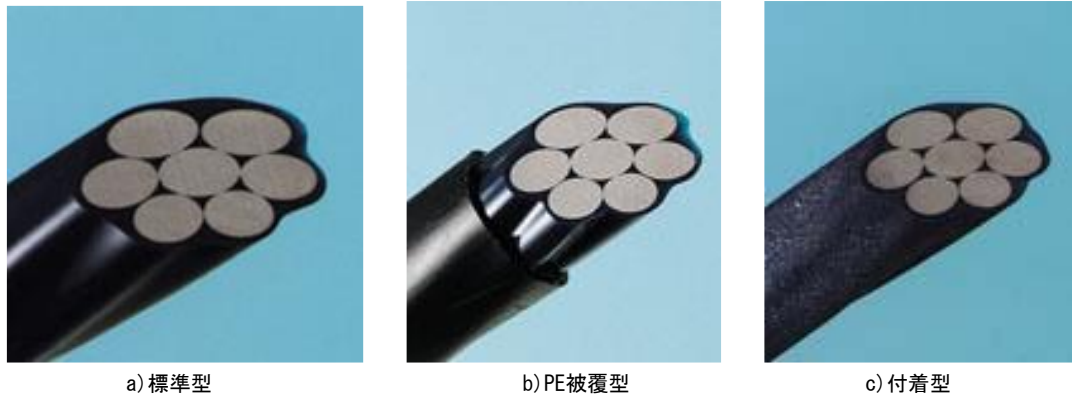


写真-11.4.1 エポキシ樹脂被覆・塗装PC鋼材<sup>3)</sup>

### 11.5 プレグラウト鋼材

PC鋼材の表面に未硬化のエポキシ樹脂やセメント系グラウト材を充填し、その上をポリエチレンシースで被覆したPC鋼材である。内部に充填した樹脂やセメントが熱または湿気で硬化することにより、樹脂を介してコンクリートとPC鋼材が一体化するため、グラウト注入の必要がなく施工性に優れる。また、ポリエチレンシースで被覆されているため高耐久性を有する。ただし、緊張作業前に樹脂が硬化しないように適切な樹脂の選定および管理が必要である。

写真-11.5.1にプレグラウト鋼材の種類を示す。



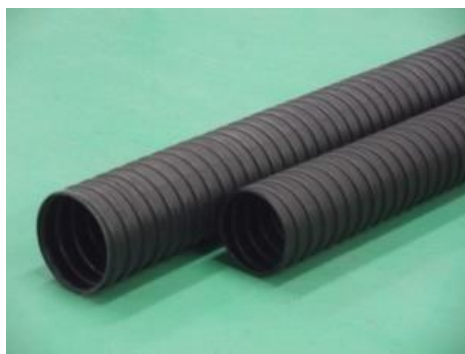
a) プレグラウトPC鋼材

b) プレグラウトPC鋼棒

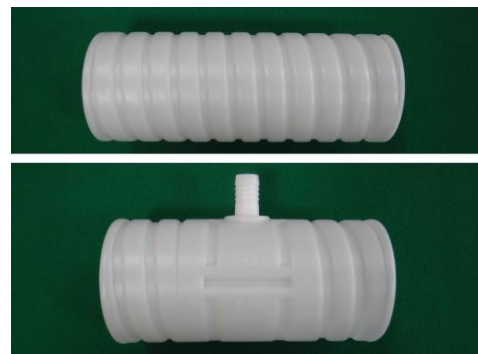
写真-11.5.1 プレグラウト鋼材<sup>4)</sup>

### 11.6 非鉄シース

一般にはシースには薄肉の鋼製シースが用いられるが、近年、塩害対策を要する地域においてポリエチレンなどのプラスチック製シース（PEシース）が採用されている。非鉄シースは、それ自体が腐食せず遮水性が優れるため、劣化因子のPC鋼材への到達防止に有用である。写真-11.6.1にPEシースを、図-11.6.1にPEシースの腐食促進物質遮断効果概念図を示す。



a) PEシース



b) PEシースジョイント

写真-11.6.1 PEシース<sup>5)</sup>



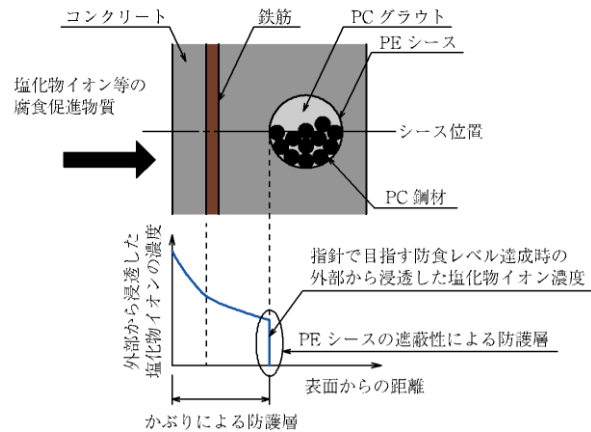


図-11.6.1 PEシース遮腐食促進物質断効果概念図<sup>6)</sup>

## 11.7 連続繊維補強材

連続繊維補強材とは、高強度・高弾性・耐熱性に優れた炭素繊維・アラミド繊維・ガラス繊維などとエポキシ樹脂・ビニルエステル樹脂などを組み合わせた複合材料である。これらの連続繊維補強材は、耐食性が高く、コンクリート構造物の維持管理費の削減には有効な建設資材である。連続繊維補強材を用いる場合は、「繊維強化ポリマー（FRP）のコンクリート構造物への適用に関する設計・施工指針」<sup>7)</sup>等を参考にすると良い。

### (1) 炭素繊維補強材

一般に建設材料として使用されている炭素繊維は、ポリアクリロニトリル（PAN）を原料とするPAN系と、石炭・石油を原料とするピッチ系に大きく分類される。主にPAN系は高強度でピッチ系は高弾性率の特徴を有する。炭素繊維そのものの引張強度および引張弾性率は非常に高い。写真-11.7.1に炭素繊維補強材の外ケーブルへの適用事例を示す。

以下に、炭素繊維補強材の性能（一例）・特徴を示す。

- ・ 炭素繊維補強材の引張強さ1400～2500 N/mm<sup>2</sup> 程度（一例）。
- ・ 炭素繊維補強材の有効ヤング係数130～170×10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup> 程度（一例）。
- ・ 炭素繊維補強材は導電体で磁気に関しては非磁性体。
- ・ 炭素繊維補強材は耐摩耗性が低いが切削性に優れる。
- ・ 炭素繊維補強材は電波を遮断する。
- ・ 鉄筋と炭素繊維補強材を併用する場合は電食に留意する必要がある。

また、1993年に建設された葛葉岸壁棧橋床版に炭素繊維補強材が適用された。2013年には、この床版の調査および載荷試験等が行われ、健全性・有用性が確認されている。



a) 炭素繊維補強材（CFRPケーブル）



b) 炭素繊維補強材の外ケーブルへの適用

写真-11.7.1 炭素繊維補強材<sup>8)</sup>

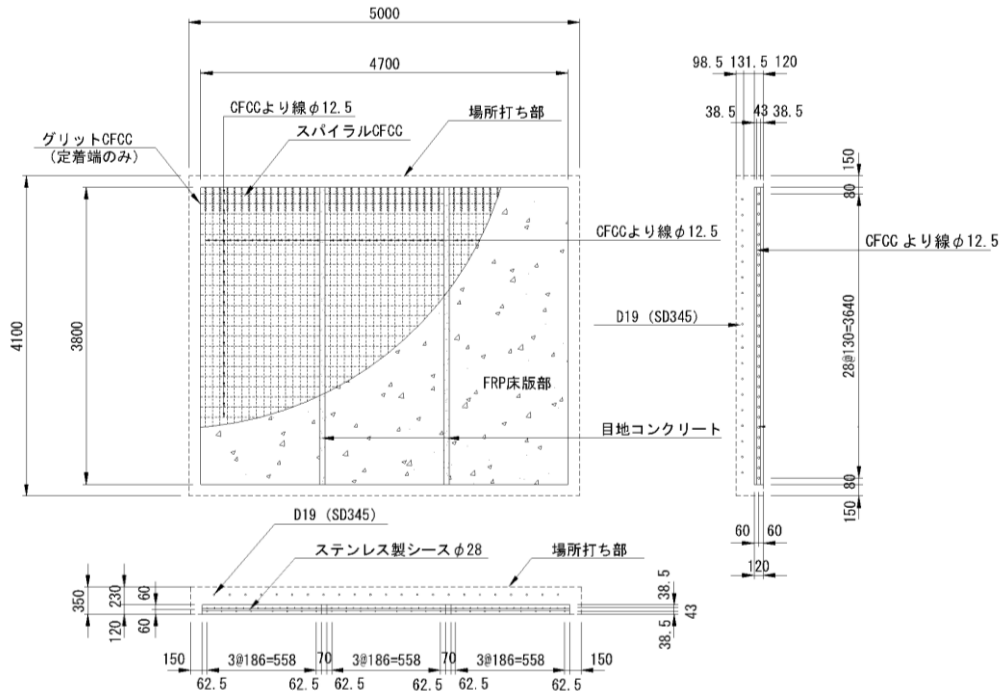


図-11.7.1 炭素繊維補強材配置図<sup>9)</sup>



写真-11.7.2 栈橋床版の荷重試験状況<sup>9)</sup>

(2) アラミド繊維補強材

アラミド繊維は、その分子骨格が芳香族（ベンゼン環）からなるポリアミド繊維である。従来の脂肪族ポリアミド繊維であるナイロンと区別してアラミドという一般名がつけられた。写真-11.7.2にアラミド繊維補強材のPCマクラギへの適用事

例を示す。以下に、アラミド繊維補強材の性能（一例）・特徴を示す。

- ・ アラミド繊維補強材の引張強さ1150～2550 N/mm<sup>2</sup> 程度（一例）。
- ・ アラミド繊維補強材の有効ヤング係数70×10<sup>3</sup> N/mm<sup>2</sup> 程度（一例）。
- ・ アラミド繊維補強材は非導電体で磁気に関しては非磁性体。
- ・ アラミド繊維補強材は耐摩耗性が高い。
- ・ アラミド繊維補強材は電波を透過する。



a) アラミド繊維補強材（AFRPロッド）



b) アラミド繊維補強材のPCマクラギへの適用

写真-11.7.3 アラミド繊維補強材<sup>10)</sup>

### 11.8 高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、高炉で銑鉄を製造する際に副産される高炉スラグを粒度調整粉末にしたものであり、コンクリートの耐久性向上に有効であり、その活用は環境負荷低減に寄与することから利用が増えている。

#### (1) 塩化物イオンの浸透抑制効果

高炉スラグ微粉末を混入することにより、塩分を表層部分で遮断し内部への拡散を抑制する。

#### (2) アルカリシリカ（ASR）反応の抑制効果

セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換することによる希釈効果に加えて、細孔溶液中からの水酸化アルカリが除去される効果や水分、アルカリイオンの移動速度が小さくなるなどの効果によりASRの発生を抑制する。

#### (3) 環境負荷低減効果

高炉で銑鉄を製造する際に排出される副産物であり、資源のリサイクルという観点から有効である。副産された水砕スラグを乾燥・粉砕して製造するため、セメントのような焼成工程がなく、燃焼用のエネルギーが削減できCO<sub>2</sub>の発生が大幅に抑制される。

### 11.9 フライアッシュ

フライアッシュは石炭火力発電所から排出される副産物で、ボイラ内で石炭を燃焼させる際に電気集じん機から採取される石炭灰であり、フライアッシュの地産地消は環境負荷の低減に貢献することができる。

フライアッシュは球状の微粒子で、フライアッシュを用いたコンクリートでは流動性が向上し、単位水量が低減する傾向にある。また、セメントと置換して使用する場合には水和熱が低減し温度ひび割れを抑制できるため、マスコンクリート対策としても有効である。

#### (1) 乾燥収縮の抑制効果

フライアッシュの代替率が増加する程セメント量の減少により、硬化後の収縮率が小さくなり、ひび割れ現象が起りにくく堅牢な構造物となる。

#### (2) アルカリシリカ（ASR）反応の抑制効果

レディーミクストコンクリートの規格JISA5308にもアルカリシリカ反応抑制対策として、フライアッシュセメントB種若しくはC種の使用が採用されている。

### (3) 水密性の向上

セメント中の遊離石灰とフライアッシュのシリカやアルミナとが結合して、不溶性の固い物質を作り、コンクリートの組織を緻密にして、その水密性を増し日時の経過とともに著しく効果を発揮する。

### 11.10 マルチレイヤプロテクション

コンクリート構造物が持つ耐久性上のリスク低減を目的として、多層的な防食法を用いるマルチレイヤプロテクション（多重防食）の導入が有効である。図-11.10.1にマルチレイヤプロテクションの一例を示す。

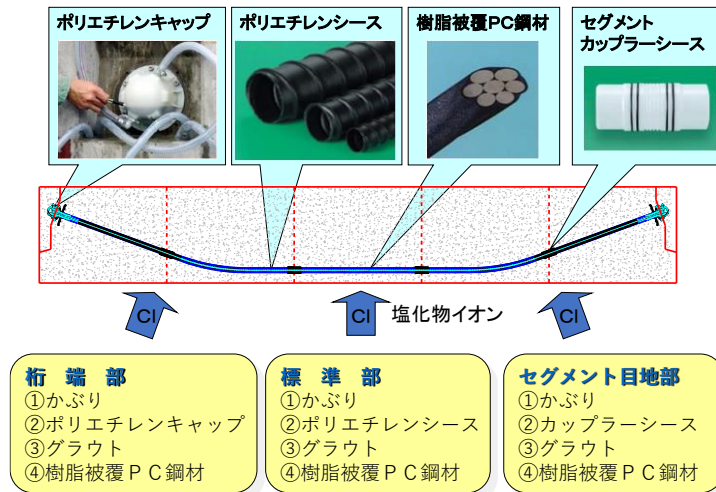


図-11.10.1 マルチレイヤプロテクション

### 参考文献

- 1) 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），土木学会，2008
- 2) 愛知製鋼株式会社 HP：[https://www.aichi-steel.co.jp/products/stainless/stainless\\_09.html](https://www.aichi-steel.co.jp/products/stainless/stainless_09.html)
- 3) 住友電気工業株式会社 HP：[https://sei.co.jp/steel-wire/products/pc/eng\\_works/epoxy\\_strand.html](https://sei.co.jp/steel-wire/products/pc/eng_works/epoxy_strand.html)
- 4) 住友電気工業株式会社 HP：[https://sei.co.jp/steel-wire/products/pc/eng\\_works/pregouted\\_pc.html](https://sei.co.jp/steel-wire/products/pc/eng_works/pregouted_pc.html)
- 5) 株式会社栗本鐵工所 HP：[http://www.kurimoto.co.jp/download/data/j03/polyethylenesheath\\_catalog.pdf](http://www.kurimoto.co.jp/download/data/j03/polyethylenesheath_catalog.pdf)
- 6) 下村ら，「PEシースを用いたPC橋の設計施工指針(案)」の制定とその内容について，プレストレストコンクリート，Vol.51，No.2，2016（図-1）
- 7) 繊維強化ポリマー（FRP）のコンクリート構造物への適用に関する設計・施工指針，PC工学会，2020
- 8) 東京製綱インターナショナル株式会 HP：[https://tokyorope-intl.co.jp/ja/service/civil/product-soto\\_cable.html](https://tokyorope-intl.co.jp/ja/service/civil/product-soto_cable.html)
- 9) 由井ら，緊張材に炭素繊維を用いたプレキャストPC床版の劣化調査，プレストレストコンクリート，Vol.55，No.6，Nov，2013
- 10) ファイバックス株式会社 HP：[http://www.fibex.co.jp/zirei\\_03.html](http://www.fibex.co.jp/zirei_03.html)

付録 港湾PC構造物研究会・会員会社が保有する補修・補強およびモニタリング技術

付録.0 一般

以下に、港湾PC構造物研究会の会員会社が保有する補修・補強およびモニタリング技術の一覧表を示す。これら技術はPC栈橋の補修・補強およびモニタリングに適用できる可能性があるので参考にされたい。

表-付.0.1 各社保有技術

大分類	小分類	工法名		技術保有会社
補修 工法	断面修復工法	1	断面補修 + 表面被覆工法：ONR工法（塩害仕様）	オリエンタル白石
		2	断面補修工法：なおしタル工法	ドーピー建設工業
	脱塩工法	3	脱塩工法	富士ピー・エス
	電気化学的補修工法	4	Znカートリッジ工法	ピーエス三菱
補強 工法	外ケーブル工法	5	外ケーブル工法：OES工法	オリエンタル白石
	炭素繊維プレート緊張工法	6	炭素繊維プレート緊張工法：アウトプレート工法	ドーピー建設工業
モニタリング手法		7	コア切込みによる残存プレストレス推定手法	オリエンタル白石
		8	腐食モニタリングセンサ	オリエンタル白石
		9	橋梁点検ロボットカメラ	三井住友建設
		10	チタンワイヤーセンサー	ピーエス三菱
		11	i-Boat（無線LANポート）を用いた港湾構造物の点検・診断システム	五洋建設
		12	港湾構造物の維持管理支援システム「SAMSWING（サムシング）」	東亜建設工業

付録.1 ONR 工法（塩害仕様）

(1) 概要

本技術は、塩害によるコンクリート劣化に対する補修工法として開発された。塩害は、飛来塩分などにより、コンクリート表面から内部に塩化物イオンが浸透することで、鉄筋が腐食膨張し、コンクリートにひび割れ、はく離等の欠陥を生じる現象である。これを防止するには外部からの水分と塩分の侵入を防ぐ必要があり、飛来塩分量が多い海岸地域では、劣化予防の観点からも早い段階で処理することが重要である。ONR工法の塗膜はゴム系であるため、躯体であるコンクリートにひび割れが生じて、優れたひび割れ追従によって遮塩性を維持し、同時に水や酸素を遮断して劣化の進行を抑制することができる。開発以来30年以上が経過し、豊富な経験と実績を重ねてきた本技術は、施工後16年および25年が経過した段階で塗膜の耐久性試験を実施し、十分な性能を維持していることが確認されている。本工法は、東・中・西日本高速道路株式会社「構造物施工管理要領（平成22年7月）コンクリート表面保護」の規格に適合するもので、「ONR工法」（登録番号：KT-990214-V）として、NETISにも登録されている。

(2) 特長

- ① 遮塩性に優れる。
- ② 防水性が高い。
- ③ ひび割れ追従性に優れる。
- ④ コンクリートとの付着強度が高い。
- ⑤ 鉄筋防錆に優れる。

(3) 施工手順及び管理

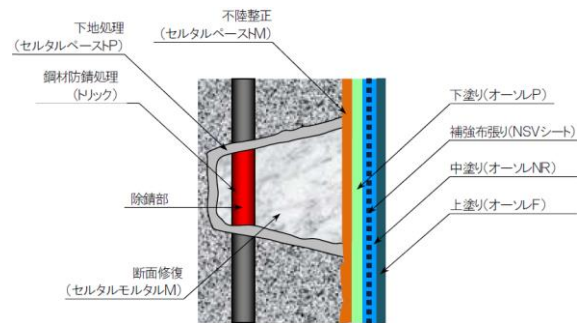
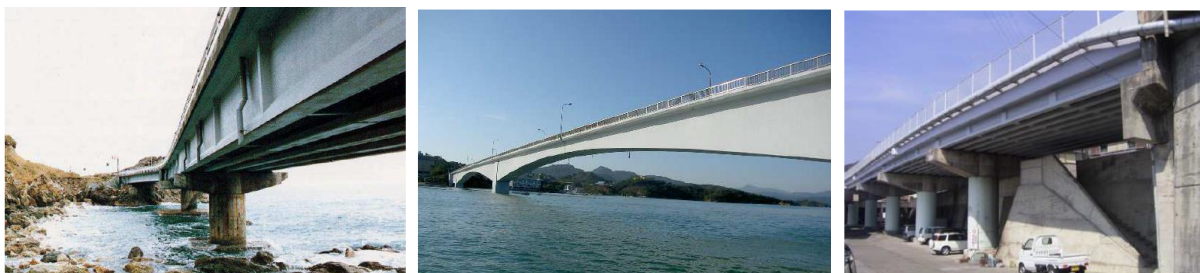


写真-付.1.1 修復部断面の概要

<p>① 断面修復・不陸整正 (セタルペーストM充填・塗布)</p> 	<p>② 下塗り (オールP塗布)</p> 	<p>③ 中塗り (オールNR塗布)</p> 
<p>④ 補強布張り (NSVシート張付け)</p> 	<p>⑤⑥ 中塗り (オールNR塗布)</p> 	<p>⑦⑧ 上塗り (オールF塗布)</p> 

(4) 適用事例

開発以来、道路構造物や港湾構造物の断面修復、表面被覆工法として、570件のPC構造物に適用されました。



a) ポステンPCT桁橋（新潟県獅子ヶ鼻大橋）

b) PC箱桁橋（熊本県前島橋）

c) プレテンPCT桁橋（高知県岬大橋）

写真-付.1.1 ONR工法の補修事例

## 付録.2 なおしタル工法

### (1) なおしタル工法の概要

なおしタル工法とは、付着性に優れ、ひび割れの発生が無く、作業性および厚塗り性に優れるという条件を同時に備えた断面修復材である。なおしタル工法は、これらの条件を満足させるために、『チクソトロピー性』を付与させている。『チクソトロピー性』とは、「硬く見えるが、ある力を加えると動き出す性質」で、「マヨネーズ」もこの一種である。このチクソトロピー性を断面修復材に付与することにより、コテ塗り時には、コテによる圧力を受けることで断面修復材の粘度が低下し、コテ塗り作業性が向上する。また、ポンプ圧送時にも粘度の低下により流動性が向上するためポンプ圧送性が良好となる。一方で、非加圧時では、粘性が回復し、材料の跳ね返りが防止されるため材料のロスが低減される。また、だれの発生がなくなるため厚塗りが可能となる。

### (2) なおしタル工法の特徴（種類）

#### 『なおしタル N』

- ・厚塗り施工ができ工期短縮につながる。
- ・吹付け工法、コテ塗り工法が可能。
- ・ポリマーエマルジョンを使用していないため、高強度性能 ( $\sigma_{28} = 40\text{N/mm}^2$  以上)、耐火性に優れる。
- ・高い無収縮性能を有する。

#### 『なおしタル H』：なおしタル N の特徴に加え、

- ・高強度性能 ( $\sigma_{28} = 60\text{N/mm}^2$  以上)。

#### 『なおしタル NF』：なおしタル N の特徴に加え、

- ・高強度性能 ( $\sigma_{28} = 50\text{N/mm}^2$  以上)。
- ・寒冷地における凍結融解抵抗性等の耐久性に優れる。

#### 『なおしタル G』

- ・高いチクソトロピー性により、従来の無収縮モルタルでは出来なかった上下に広がる空洞等の充填が可能。

### (3) なおしタル工法の適用事例

#### ①橋台の断面修復

本橋梁は、北海道・網走地方に架かる橋梁で、塩害および凍害の影響で橋台に劣化が生じた。断面修復は、『なおしタル NF』を用いたコテ塗り工法で行った（写真-付.2.1 a）参照）。

#### ②橋脚の耐震補強

本橋梁は、北海道・札幌地方に架かる橋梁で、耐震診断の結果、補強が必要となった。断面補強は、『なおしタル NF』を用いた吹付け工法で行った（写真-付.2.1 b）参照）。

#### ③アウトプレート工法との併用

本橋梁は、関西地方に架かる橋梁で、断面形状が旧建設省断面のため、アンカーを設置する間詰部を充填する必要がある、『なおしタル G』を用いた注入工法により充填を行った（図-付.2.1 参照）。

### (4) なおしタル工法の最大施工厚さ

既存ポリマーセメントモルタルを用いた湿式吹付け工法の場合、垂直面施工厚さは 50mm 程度であるが、なおしタルの場合は 150mm 程度まで厚付けが可能である。表-付.2.1 に、なおしタルの施工厚さを示す。



a) 橋台の断面修復（コテ塗り工法）



b) 橋脚の耐震補強（吹付け工法）

写真-付.2.1 なおしタル工法の補強事例

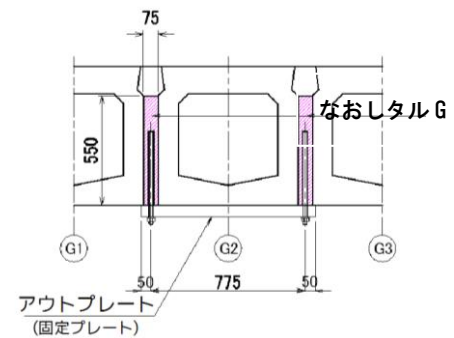


図-付.2.1 間詰部の充填（注入工法）

表-付.2.1 なおしタル工法の最大施工厚さ

	コテ工法		湿式吹付け工法	
	垂直面	天井面	垂直面	天井面
なおしタル N	60 mm	30 mm	150 mm	100 mm
なおしタル NF	60 mm	30 mm	150 mm	80 mm
なおしタル H	40 mm	20 mm	150 mm	30 mm

### 付録.3 脱塩工法

#### (1) 脱塩工法の概要

電気化学的脱塩工法は、コンクリート構造物の表面に電解質を介して外部電極を設置して陽極とし、コンクリート中の鋼材を陰極として、直流電流を一定期間通電することにより、電気泳動でコンクリート中の塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) を外へ排出させる工法である。水の電気分解によって鋼材周辺に水酸化物イオン (OH<sup>-</sup>) を生成し、コンクリートのアルカリ度を高め、鋼材防食性能を高める効果 (再アルカリ化) もある反面、反応性骨材を含むコンクリート含む構造物には、アルカリ度が高まることによりアルカリ骨材反応アルカリが促進されるため、電気化学的脱塩工法が適用できないので注意が必要である。

脱塩工法には、補修部材を電解質溶液に浸して脱塩効果を得るパネル法と、コンクリート表面に吹き付けたセルロースファイバーに電解質溶液を散布・浸み込ませて脱塩効果を得るファイバー法の2種類がある。

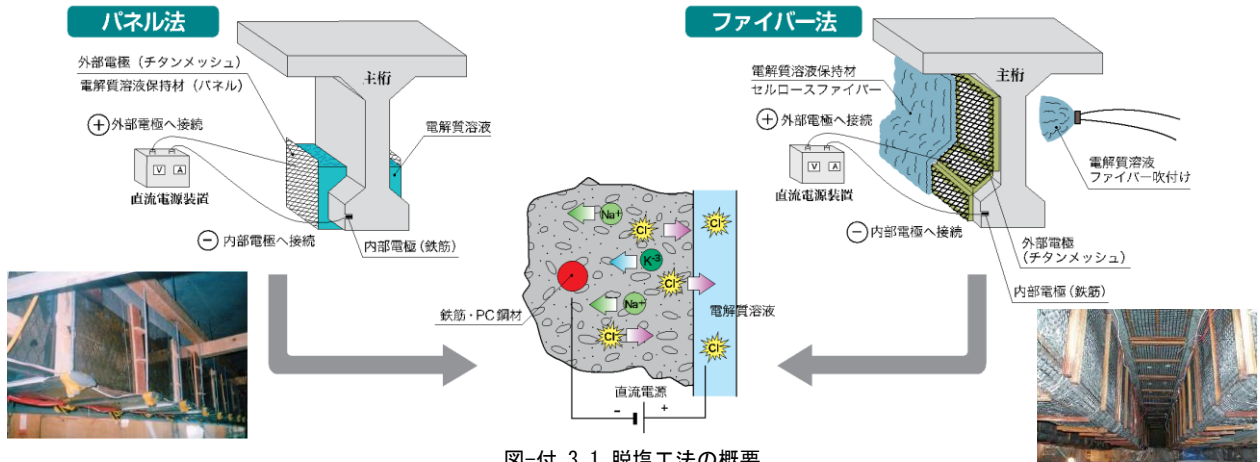


図-付.3.1 脱塩工法の概要

#### (2) 脱塩工法の施工手順および管理

脱塩工法の施工手順および工程の一例を図-付.3.2に示す。電解質溶液を含んだ仮設陽極材を約8週間程度設置し、1~2A/m<sup>2</sup>の直流電流を通電する。脱塩量を確認後、仮設陽極材を撤去し、処理完了となるが、将来外部からの塩化物イオンの浸入がある場合は、表面保護塗装を併用することが望ましい。また、通電により鋼材周辺にはアルカリイオンの集積およびH<sub>2</sub>などのガスの発生が懸念される。とくにPC部材に適用する場合には、PC鋼材の水素脆性が懸念されるため、事前の検討に基づく通電制御（簡欠通電）を行うことが重要である。

通電期間内の脱塩量の確認方法には、①コア採取法、②ドリル法、③部分パネル法がある。部分パネル法は、脱塩システム内に部分パネルを設置し、パネル内電解質溶液の塩分濃度を測定することで、脱塩量と内在塩分量を推定する方法である(写真-付.3.1)。

#### (3) 脱塩工法の適用事例

昭和40年に架設された海岸線付近に位置する単純PCポストテンションT桁橋(＋単純鋼合成I桁橋)において、脱塩工法(ファイバー法)が採用された事例を示す(写真-付.3.2)

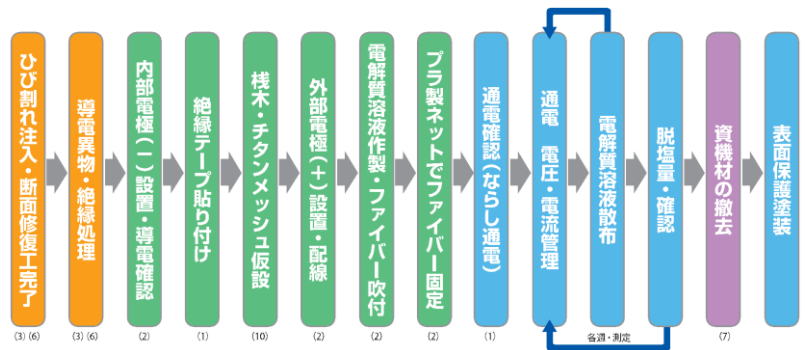


図-付.3.2 脱塩工法の施工手順・工程



写真-付.3.1 部分パネル法



写真-付.3.2 適用事例



## 付録.4 Zn カートリッジ工法

### (1) Znカートリッジ工法の概要

Zn カートリッジ工法 (NETIS 登録 : KT-180150-A) は、塩害等によるコンクリート内部の鋼材腐食に対して、流電陽極材を用いて腐食を抑制する電気化学的補修工法である。本工法は、Zn アクティブ (バックフィル材) により活性化された Zn カートリッジ (流電陽極材) をコンクリート内部の鋼材と接続することで、周辺鋼材に防食電流を供給し、鋼材腐食を抑制する。

### (2) Znカートリッジ工法の特徴

Zn カートリッジ工法の特徴を以下に示す。

- ① 鋼材の腐食抑制：鋼材と流電陽極材の電位差により鋼材に電流を供給する電気化学的な工法であり、鋼材腐食が抑制される。
- ② 簡単な維持管理：通電調整などの維持管理は不要である。
- ③ 用途によるタイプ選定：施工方法や腐食鋼材位置により、『インサートタイプ』(図-付.4.1 a) と『サーフェスタップ』(図-付.4.1 b) の選定が可能である (流電陽極材の推定耐用年数は 15 年)。
- ④ 容易な施工と取替：流電陽極材は、あと施工アンカーで固定するタイプのため、容易な施工と取替が可能である。
- ⑤ マクロセル腐食対策：マクロセル腐食を抑制できるため、塩害による断面修復部近傍に生じやすい再劣化対策としても有効である。

### (3) Znカートリッジ工法の適用事例

#### ① RC 栈橋への適用

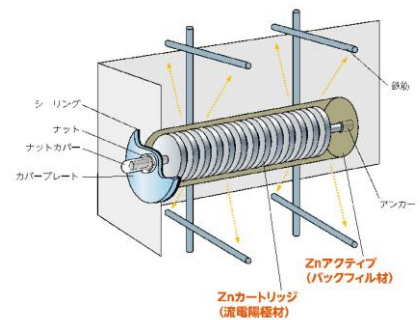
干満や波の影響を受ける RC 栈橋に対して、Zn カートリッジ (インサートタイプ) を梁の側面から設置する。足場の空間や波間作業の影響を受ける下面の作業を最小限に抑えることが可能である (図-付.4.2 a)。

#### ② 橋梁への適用

飛来塩分や海水の影響を受ける橋梁への塩害対策の一例として、プレテンション方式 PC 桁の下面へのサーフェスタップの施工実績がある (図-付.4.2 b)。

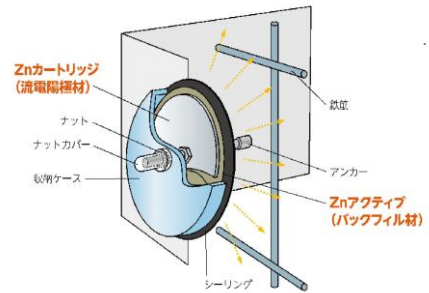
#### ③ 橋梁の桁遊間部への適用

橋梁の桁端定着部、遊間目地部の鋼材の腐食抑制を目的として、主桁側面にサーフェスタップを、端部横桁にインサートタイプを用いた施工実績がある。(図-付.4.2 c)。



a) インサートタイプ

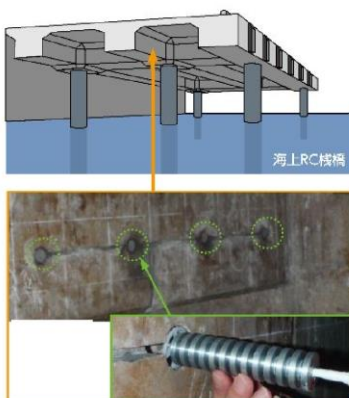
(主に内部鋼材の腐食抑制に対応)



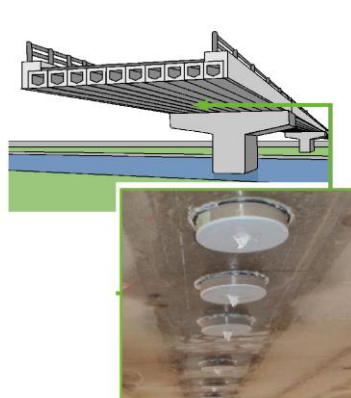
b) サーフェスタップ

(主に表面鋼材の腐食抑制に対応)

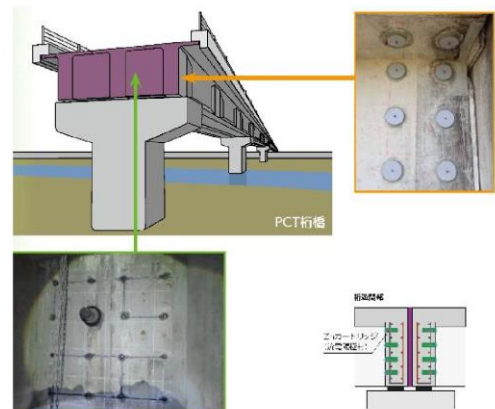
図-付.4.1 Zn カートリッジ工法の概要



a) RC 栈橋への適用



b) 橋梁への適用



c) 桁遊間部への適用

図-付.4.2 Zn カートリッジ工法の適用事例

## 付録.5 OES 工法

### (1) 概要

本技術は、プレテンション方式床版橋を対象として開発された外ケーブル補強工法である。新たにケーブルを配置するために間詰部を斜めに削孔し、床版上面に定着部を設ける。下縁側には摩擦が低いMCナイロン製の偏向装置をとりつけ、この偏向部を介して、外ケーブルによるプレストレスが導入される。削孔部のケーブルは、無収縮モルタルで一体化される。また、鋼材には、プレグラウト鋼材を使用することで現場でのグラウト作業は不要となる。

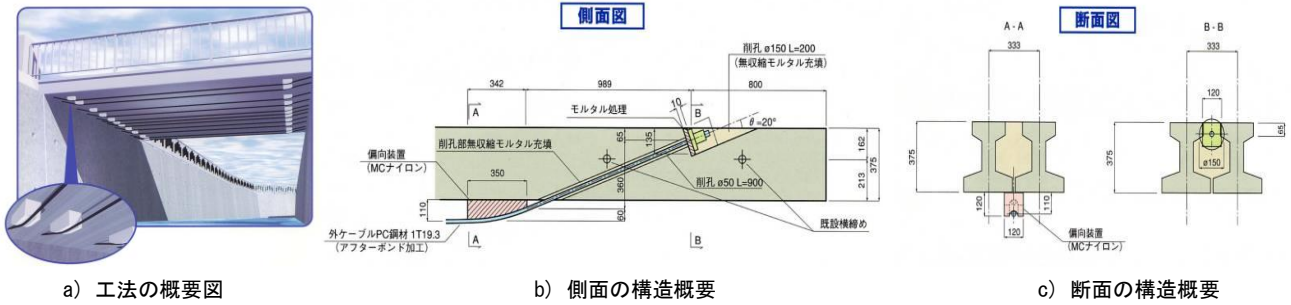


図-付.5.1 OES 工法の構造概要

### (2) 特長

- ①プレテンション方式床版橋において、外ケーブルによる補強が可能。
- ②既設構造物に直接定着させるので、定着突起が不要。
- ③偏向装置にMCナイロン製品を使用するため、摩擦によるプレストレス損失を低減。
- ④外ケーブルにアフターボンド鋼材を使用するため、防錆が確実。

### (3) 施工手順



写-付.5.1 OES 工法の施工手順

### (4) 適用性

本工法は、道路橋での施工実績があり、以下のような適用性がある。

- ①外ケーブル補強により、桁下縁外側にPC鋼材を新たに配置し、プレストレスを与えることで既設橋梁の耐荷力を向上させることができる。
- ②プレテンション方式床版橋のように桁高が低い橋梁形式においても、間詰部を削孔し、PC定着部及び偏向部を工夫して設置することで外ケーブルによる補強工法を実現することができる。

付録.6 アウトプレート工法

(1) アウトプレート工法の概要

アウトプレート工法は、炭素繊維プレートの両端に定着体を工場で一体化した緊張材（アウトプレート）を緊張して部材に定着ならびに接着し、コンクリートおよび鋼構造物を補強する工法である。

炭素繊維シートをエポキシ樹脂などでコンクリート構造物に接着する補強工法は、施工性に優れた補強工法として近年多く採用されているが、炭素繊維接着工法の場合、補強後の作用荷重が対象であり、補強前に発生しているコンクリートの引張応力やひび割れは制御できない。一方、アウトプレート工法は、工場で炭素繊維に結合材を含浸させ成形した炭素繊維プレートを緊張材として用い、コンクリート構造物および鋼構造物にプレストレスを導入して補強する工法であり、補強前に発生しているコンクリートの引張応力やひび割れは制御でき、たわみの改善も可能となる。図-付.6.1にアウトプレート工法の概念図を、

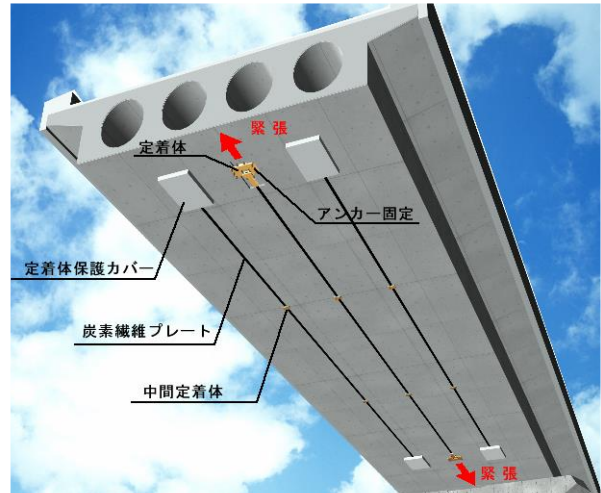


図-付.6.1 アウトプレート工法の概念図

図-付.6.2にアウトプレート工法の緊張システム概要図を示す。

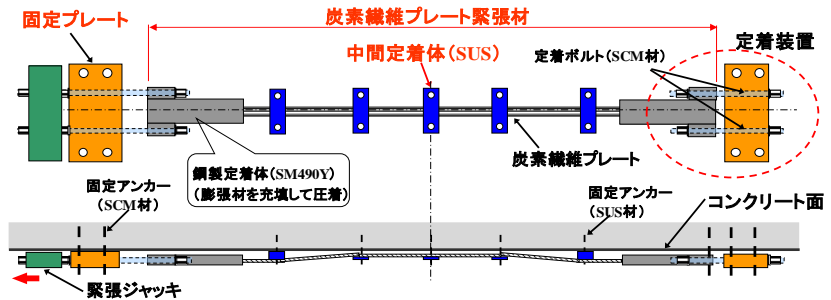


図-付.6.2 アウトプレート工法の緊張システム概要図

(2) アウトプレート工法の補強効果

以下に、アウトプレート工法の補強効果を示す。

- ① 高い曲げ補強効果：終局曲げ耐力の向上，鉄筋コンクリート構造では鉄筋応力が改善される。
- ② ひび割れの制御：プレストレスを導入することにより，ひび割れに対して抑制効果があり，コンクリート部材のひび割れ発生限界値を向上できる。
- ③ たわみの回復：プレストレスを導入することにより，死荷重に対しても有効である。
- ④ 景観性の向上：外ケーブルに比べ緊張材が薄くコンクリートに接着する工法であるため，建築限界，河川限界に影響せず，本体の景観性は補強後においても変化が少ない。
- ⑤ 連続桁の支点上の補強が下面から可能：連続桁の下面に補強した場合中間支点上ではプレストレスによる2次モーメントにより負の曲げモーメントを低減できる。

(3) アウトプレート工法の適用事例

本工法の適用実績は、開発以来、構造物の補強に適用された実績は70件である。その内訳は、RC橋の補強が22件、PC橋の補強が45件であり、PC橋の補強に関しては、橋軸方向の補強に加え、橋軸直角方向の補強も行われている。また、近年では、鋼橋の補強にも適用され3件の実績がある。写真-付.6.1にアウトプレート工法の補強事例を示す。



a) PC 橋の橋軸方向補強



b) PC 橋の橋軸直角方向補強



c) 鋼橋の橋軸方向補強

写真-付.6.1 アウトプレート工法の補強事例

付録.7 コア切込みによる残存プレストレス推定手法

(1) 概要

プレストレスの管理は、PC 構造物の諸性能を担保する上では極めて重要である。しかし、古い構造物の中には設計図書が保存されていない構造物や、その外観変状から設計で想定したプレストレス量の損失が懸念される構造物もある。残存プレストレス調査は、こうした既設PC構造物の維持管理において活用が期待できる。

原理は、応力の働いている弾性体からその一部を切り取ると、切り取られた部分は応力が解放されて元の形に戻る。このとき、ヤング係数に応じたひずみが発生するため、これを測ることで、作用していた応力を推定することができる。

ただし、コンクリート部材には乾燥収縮およびクリープひずみの影響（鋼材による内部拘束）があるため、『残存プレストレス』を正しく取り出せないという課題があった。

本技術によって、今まで困難であった乾燥収縮およびクリープひずみの影響を適切に考慮し、これらを取り除くことでより精度の高い『残存プレストレスの推定』が可能になった。

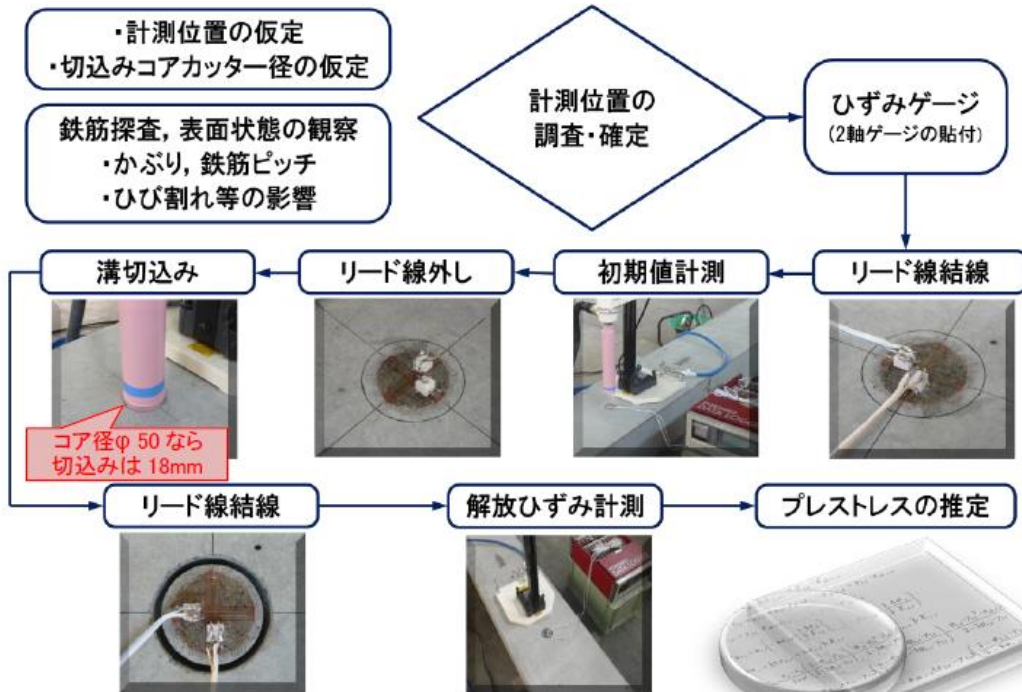
従来法との大きな違いは、プレストレスが作用している方向の解放ひずみと直角方向の解放ひずみの差を利用することで、内部拘束によるひずみ成分の大半を消去し、消去できない成分については当社考案の推定式で消去することができる。

(2) 特長



(3) 手順

- ① 残存プレストレスを知りたい箇所に2軸のひずみゲージを貼りつける。
- ② コンクリートコアカッターにてコア径の0.36倍の深さに切込みを入れる。
- ③ 切込み時に解放される2方向のひずみを測定し、推定式に代入する。



(4) 適用

本手法はこれまで、道路橋のT桁及び箱桁、栈橋床版など、45件の適用実績がある。

付録.8 腐食モニタリングセンサ



図-付.8.1 pti センサの外観

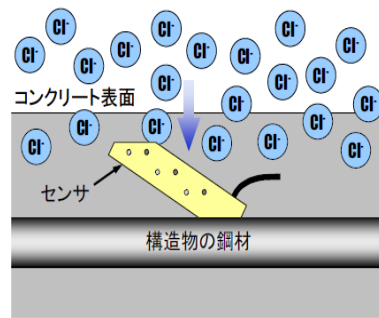


図-付.8.2 センサ原理

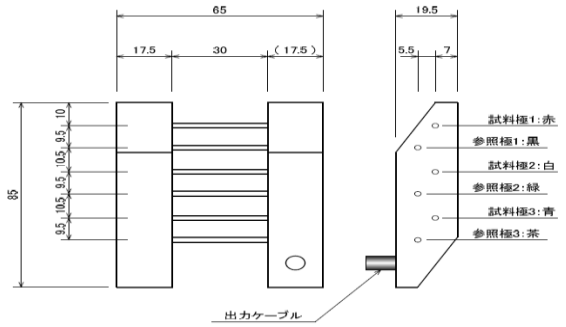


図-付.8.3 センサ寸法

(1) 概要

コンクリート構造物が劣化すると、補修、補強が必要となり、維持管理費が増大する。事後保全は、費用および労力がかさむばかりでなく再劣化のリスクも増加する。そこで、予防保全を可能にするために開発されたのが、この“Pti センサ”である。これは、鋼材腐食を検知できるセンサで、構造物のかぶりコンクリート中に埋め込み、鋼材の腐食環境を監視・予測し、必要に応じて予防保全を行うことが可能となる。さらに、遠隔モニタリングシステムを利用すれば、計測手間が省け、足場などの設備が不要になるなど、点検労力を大幅に軽減できる。

Pti センサは、試料極と参照極で一对の電極を構成している。センサには3対の電極が配置されているので、構造物の鋼材より浅いかぶり部分に、電極の深さを変えて配置する。試料極には、構造物に使用されている鉄筋やPC鋼材と同等の腐食特性をもつ金属、参照極には、鋼材が腐食する環境でも電的に安定な貴金属を使用している。塩化物イオンや中性化の作用によって試料極の鋼材が腐食し始めると、試料極の電位が変化するとともに、腐食電流が流れ始める。したがって、参照極との電位差あるいは電流を断続的に測定することによって、今どのくらいの深さまで腐食環境が及んでいるか把握するとともに、本体の鋼材が腐食し始める時期を予測することができる。

(2) 特長

- ① 小型で軽量 → 取り扱いやすとかぶりにも配置が容易。
- ② 試料極および参照極は細径 (φ2mm) → 参照極が腐食しても過度の膨張圧が生じない。
- ③ フレームはポリマーセメントモルタル製 → かぶりに配置しても異物にならない。
- ④ 自然電位による腐食の評価 → 基本的に電位の計測だけでよく計測が容易。

(3) 手順

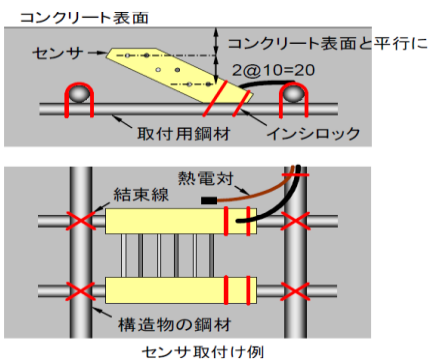


図-付.8.4 センサの配置例



ハンディタイプデータロガー



電圧計

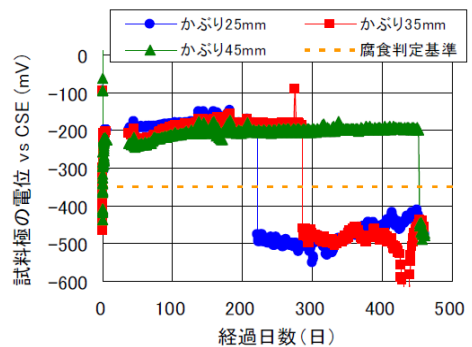


図-付.8.6 測定結果の例

- ① センサの取付け：鉄筋にインシュロック等で固定する (図-付.8.4参照)。
- ② 電位の測定：電圧測定のできる測定器、電位が一侧に大きく以降を腐食と判定 (図-付.8.5参照, 図-付.8.6参照)。
- ③ 電位の測定時期：打設後電位の安定する1週間後を初期値、以降～適宜。
- ③ 遠隔モニタリング：近接の計測が難しい立地条件では、無線による遠隔モニタリングを推奨する。

(4) 適用

本技術は、道路橋の鉄筋腐食モニタリングとして、これまで8橋の実績がある。

付録.9 橋梁点検ロボットカメラ

(1) 橋梁点検ロボットカメラの概要

橋梁点検ロボットカメラは、桁の下面や支承部など近接目視が困難な箇所に対して、ポールユニットを用いて視準可能な高さに専用のカメラを据付け、点検、測定、映像記録採取を行う装置である。

使用するカメラは、タブレット端末から無線通信により遠隔操作する。

ポールユニットは懸垂型と高所型があり、懸垂型は下方に最大6.0m、高所型は上方に最大10.5m伸ばすことが可能である。概要図を図-付.9.1に示す。



図-付.9.1 橋梁点検ロボットカメラ概要図

(2) 橋梁点検ロボットカメラの特徴

- ① 橋面からの点検調査が可能であり、作業中の転落事故などの危険性が低減される。
- ② 大きな設置場所を必要とせず、点検時に大規模な交通規制を必要としない。
- ③ カメラによるひび割れ幅の測定は、映像上表示されるクラックスケールにて行う。光学倍率 30 倍により、20m 先の 0.2mm 幅のひび割れが確認できる。
- ④ カメラには LED ライトが付いており、暗所での点検が可能である。
- ⑤ 端末操作はタブレット PC を用い、指で操作を行う。

(3) 橋梁点検ロボットカメラの適用事例

PC橋の主桁部、支承部の点検調査の適用事例を写真-付.9.1に示す。



a) PC 橋の主桁部の点検調査状況



b) PC 橋の支承部の点検調査状況

写真-付.9.1 橋梁点検ロボットカメラ適用事例

## 付録.10 チタンワイヤーセンサー

### (1) チタンワイヤーセンサーの概要

チタンワイヤーセンサー (NETIS 登録: KT-170081-A) は、鋼材の自然電位を計測するセンサーのひとつであり、従来の照合電極と比較して経済性、施工性に優れ、更にセンサーの長さを変更することで広範囲の自然電位を計測できる等の特徴を有している。

### (2) チタンワイヤーセンサーの特徴

チタンワイヤーセンサーの特徴を以下に示す。

- ① 確実な計測：チタンワイヤーセンサーは、高純度チタンに特殊皮膜を施したものであり、コンクリート中で安定した電位を示す。
- ② 安価な製品：従来の照合電極と比較して安価である。
- ③ 高い自由度：計測の目的や計測範囲に応じて、チタンワイヤーセンサーの長さを変更することが可能である。  
(製品のセンサー長は 100mm)
- ④ 容易な設置：センサーの長さにも依存するが、従来製品のようにコンクリートを大きくはつる必要はなく、ドリル孔や溝切削した箇所に設置することができる。
- ⑤ 高い維持管理性能：遠隔監視システムとモニタリングシステム (イージーM モニター) を組み合わせて使用することで、いつでもどこでも現状を把握することができる。

### (3) チタンワイヤーセンサーの適用事例

#### ① ドリル削孔による設置

既設構造物を対象として、測定対象となる鋼材の近傍にドリル削孔を行った後に、断面修復材とチタンワイヤーセンサーを埋設する (図-付. 10.2 a) )。

#### ② 断面修復部への設置

既設構造物の断面修復部の鋼材を対象として、コンクリートはつり箇所にチタンワイヤーセンサーを設置した後に、断面修復を行う (図-付. 10.2 b) )。

#### ③ 溝切削による設置

既設構造物を対象としてコンクリート表面に溝切削を行った後にチタンワイヤーセンサーを設置する (図-付. 10.2 c) )。

#### ④ 新設構造物 (PC 桁) への設置

新設の PC 桁を対象に、コンクリート打設前にチタンワイヤーセンサーを設置した後にコンクリートを打設する (図-付. 10.1 d) )。

### (4) 測定データのアウトプットの例

鋼材の自然電位の測定は、現地に赴き電位差計にて測定する方法と、遠隔監視システムを用いて測定する方法から選定できる。遠隔監視システムと測定結果の閲覧システム (イージーM モニター) を組み合わせて使用することで、鋼材腐食の発生の有無をわかりやすく表示するシステムの構築が可能である (図-付. 10.3)。

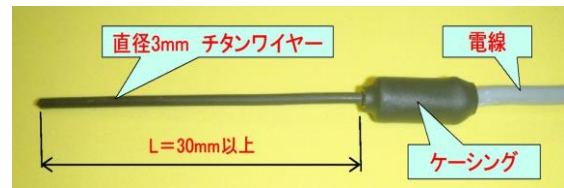


図-付. 10.1 チタンワイヤーセンサーの概要



a) ドリル削孔による設置



b) 断面修復部への設置



c) 溝切削による設置



d) 新設構造物(PC桁)への設置

図-付. 10.2 チタンワイヤーセンサーの設置事例



ASTMの腐食判定基準に応じた色分け表示



Ipadによる電位グラフの閲覧

図-付. 10.3 鋼材自然電位の測定例

付録.11 i-Boat（無線 LAN ボート）を用いた港湾構造物の点検・診断システム

(1) i-Boatを用いた点検・診断システムの概要

i-Boat（写真-付.11.1）は、無線により操作できる小型の無人ボートであり、海面上の栈橋下側を効率的に調査できる技術である。

点検・診断する手順を図-付.11.1の①～⑥に示す。①のように操船者はボートおよびカメラのコントローラを持って栈橋上にとどまり、リアルタイムで画像を見ながら無線によりi-Boatを操作する（図-付.11.2）。i-Boatには動揺抑制装置を備えたカメラが搭載され、波浪の影響を低減しながら構造物の画像を大量に効率的に撮影できる（図-付.11.1の②）。

図-付.11.1の③～⑥に示すように、現場で撮影した大量の画像を用いて栈橋下面全体を自動で3Dモデル化し、ひび割れや剥落等の劣化箇所を3Dモデル内に示すとともに、自動かつ客観的な劣化度判定を行う。さらに、これらの点検情報を3Dモデル(BIM/CIM)で表示することで、容易に確認・管理できるシステムを備え、劣化状態を一元管理することで、構造物の経年変化を容易に把握できる。



写真-付.11.1 i-Boat (1号機)の概要

(2) i-Boatを用いた点検・診断システムの特徴

- a) 専門知識を有する技術者が直接栈橋下部に行かずに点検・診断可能
- b) 栈橋下面の点検は、船舶接岸中や潮間作業になりやすく、調査時間に制約を受けることや、夜間作業になることがある。本技術は人員調査の2.5倍の速度で調査できるため、点検の効率化を実現可能
- c) 画像を用いて自動作成した3Dモデルにより、劣化状態をパソコンで容易に把握可能
- d) 狭隘な箇所や上方への長時間にわたる調査で生じる点検者の負担を軽減
- e) 専用の診断ソフトを使用し、人員による処理と比較して後処理を効率化
- f) 定量的に劣化状態を把握し、劣化の経時変化を比較(モニタリング)可能
- g) 画像による客観的なデータを蓄積し、担当者が交代しても定量的に劣化状態を把握可能

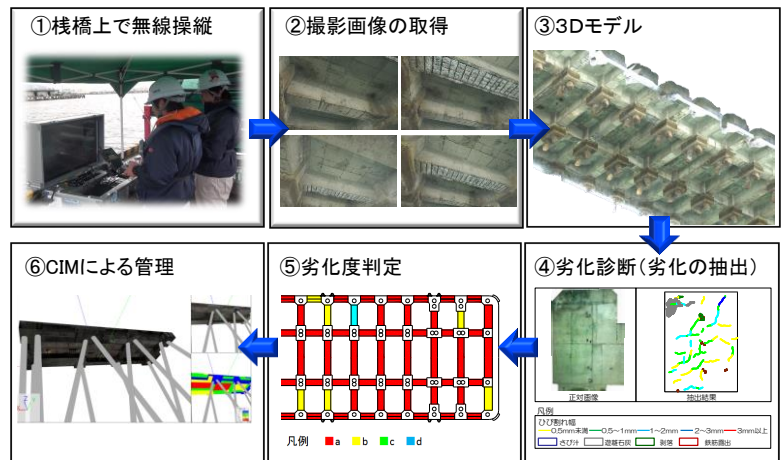


図-付.11.1 i-Boatによる点検・診断フロー

(3) i-Boatの適用事例

図-付.11.3に、調査したRC栈橋上部工の3Dモデル作成事例を示す。

実績：8件。PC栈橋1件、RC栈橋7件（国1件、民間7件）

(4) その他

本技術は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」（管理人:NEDO）に応募して採択され、開発したものである。第2回インフラメンテナンス大賞 特別賞受賞。De Paepe-Willems賞2018（論文賞）

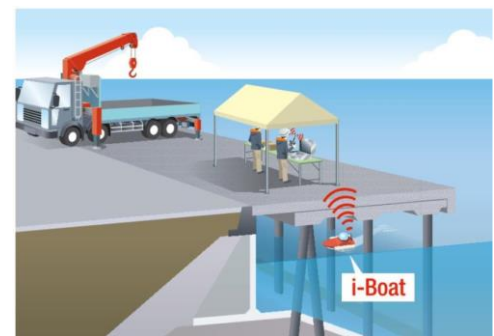


図-付.11.2 i-Boatの点検状況イメージ図

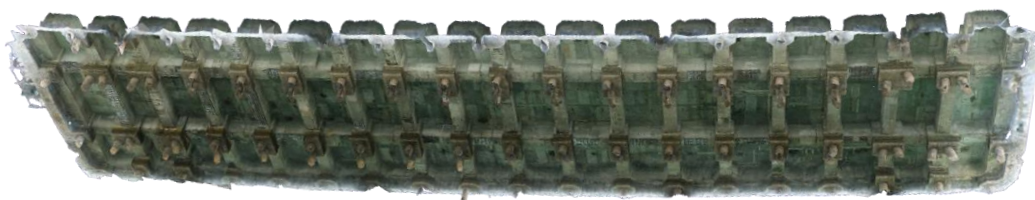


図-付.11.3 栈橋の3Dモデル事例



付録.12 港湾構造物の維持管理支援システム「SAMSWING（サムシング）」

(1) システムの概要

本システムは、構造物に設置されたセンサの連続的な計測情報と、専門技術者による計測情報の解釈や、異常と判定された際の対応方針等のコメントを、インターネットを介して施設管理者に提供するシステムである。なお、施設管理者の維持管理業務の負担軽減を考慮し、ステータス画面（専門技術者が各センサに設定した「しきい値」を逸脱したセンサのみをリスト表示させる機能）を備えるため、施設管理者はこの画面の確認だけで構造物の状態を把握できる。

また、専門技術者もセンサ情報を監視する体制を構築でき、「しきい値」を逸脱したセンサ情報に対する専門技術者の判定結果・コメントもWEB画面上に表示させる機能も備えるので、施設管理者は安全安心に維持管理業務を行うことができる。なお、センサ情報がしきい値を逸脱した場合、自動で施設管理者に警報メールを発報する機能も備える。

(2) システムの特徴

- ① 現状および過去に取得したセンサ情報と専門技術者のコメントをいつでも閲覧可能である。
- ② センサ情報がしきい値を逸脱した場合に、施設管理者および専門技術者宛に自動で警報メールを発報する。
- ③ センサ情報に対する専門技術者の判定結果および、その対処方法に対するコメントをWEB画面上に表示する。

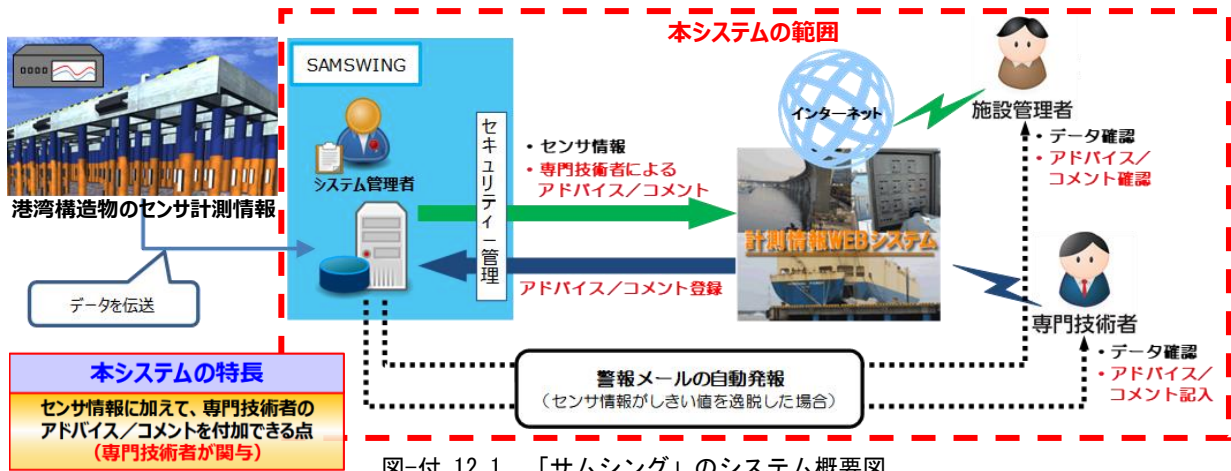
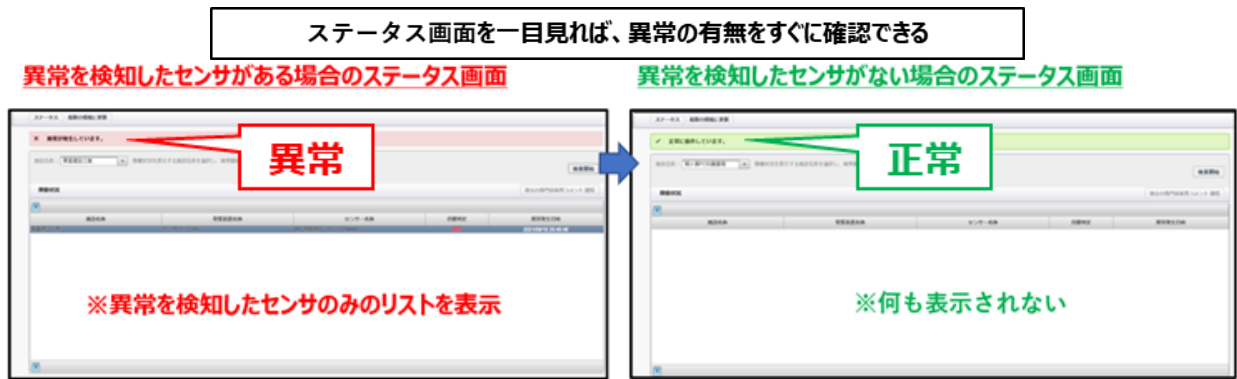


図-付.12.1 「サムシング」のシステム概要図



※施設管理者は、基本的にステータス画面のみを定期的に確認すればOK

図-付.12.2 システムの活用状況写真

(3) 適用事例

大阪港内にある民間施設の荷揚げ栈橋に施されたコンクリート（PC桁）の電気防食システムの維持管理へ適用。  
実績：1件（民間1件）

(4) その他（参考文献）

- 1) 川島仁, 小畑孝欣, 作井孝光, 網野貴彦：電気防食工法の維持管理支援システムにおける栈橋上部工PC桁への適用事例, 土木建設技術シンポジウム論文集 2007, p.285-290, 2007.8
- 2) 網野貴彦, 加藤絵万, 山路徹, 星野雅彦：栈橋の点検診断の高度化のためのセンサモニタリング技術の導入, 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol.74, No.2, p.I\_13-I\_18, 2018

港湾空港技術研究所資料 No.1400

2022.3

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/>

Copyright © (2021) 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。