

PC 構造物高耐久化ガイドラインについて

太田 誠*1・青木 圭一*2・二井谷 教治*3

2015年4月にプレストレストコンクリート工学会から「PC構造物高耐久化ガイドライン」が発刊された。これは、2000年に発刊された「PC橋の耐久性向上マニュアル」を見直したものである。改訂にあたっては、上位規準となる「コンクリート構造設計施工規準－性能創造型設計－」による新しい概念の展開に沿ったものとする事とした。耐久性に関しては、性能創造型設計の枠組みに含まれているとの認識から、ガイドライン改訂の目標は、一歩進んだ高耐久なPC構造物を目指すことの意義とその保全を検討すること、また既存のPC構造物の一層の耐久性向上や補強などを課題とする事とした。そのため、改訂の成果物は「マニュアル」を発展させた「ガイドライン」としてとりまとめた。本稿は、「PC構造物高耐久化ガイドライン」の概要について述べるものである。

キーワード：PC構造物、性能創造型設計、高耐久化、シナリオ、維持管理

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下PC）は一般のコンクリート（無筋、鉄筋コンクリート）に比して強度の高いコンクリートを用いる必要もあり、そのため材料に対する要求性能も高く、結果としては耐久性に富むコンクリートが用いられることになる。また、PC鋼材を用いてコンクリートに圧縮応力を導入することから、コンクリートの弱点である引張強度が低くひび割れが生じやすいという欠点を補うことが可能となっている。さらに近年は、各種の技術開発により、より信頼性の高い設計思想、新材料の適用が可能となってきており、より耐久性のあるコンクリート構造物の設計、施工が可能となってきている。一方、わが国においても、社会インフラの経年変化による老朽化、劣化は確実に進行しており、PC構造物においても過去に設計、施工されたもののなかには、安全性の低下が深刻な状態になっているものがあることが明らかになってきている。グラウト不良によるPC鋼材の破断等は、PC構造物の代表的なものである橋梁においては致命的であることは言を待たない。本来、耐久性を有するはずのPC構造物ではあるが、時代的背景、地理的な条件、施工時状況、維持管理状況や社会的な変化により耐久性が損なわれ、必要とされる安全性の確保もおぼつかないものが存在している。これらの構造物をいかに対処、対応するかという問題は、社会的な問題であり、国民の安全・安心な生活に直結する問題でもある。

PC構造物も個々の構造物は、人間と同じように、生まれ育ちが異なる。設計思想、特徴や使用頻度、自然環境、社会的環境がすべて異なる。すなわち、それぞれの構造物が固有の履歴とシナリオを有しているといってもよい。既

存の個々の構造物に関して、すべての履歴が明らかになっていない場合もあり、その状況のもとで、将来のシナリオをいかに合理的に設定していくべきかという難しさがあるわけであるが、この課題を解決していくことがこの時代に生きる土木技術者、とくにコンクリート技術者の宿命であると考えられる。また、個々に得られてきている知見を集積し、工学的な分析のもと新たに創造される構造物の設計、施工、維持管理等に活かしていくことも将来に対する技術者の責務であろう。

プレストレストコンクリート工学会（以下PC工学会）では、2000年に「PC橋の耐久性向上マニュアル」を発刊し¹⁾、PC構造物の代表である橋梁に対しての耐久性向上のための諸方策を示した。しかし、すでに15年の歳月が流れ、この間に想定外ともいえるような事象が少なからず発生した。PC工学会PC技術規準委員会において、新たな取り組みの必要性が提唱、検討され、今回「PC構造物高耐久化ガイドライン」が制定されることとなった。

2. ガイドラインの概要

2.1 ガイドラインの構成

本ガイドラインの構成と特徴は、以下のとおりである。前回のマニュアルにおいては、設計・施工編と維持管理編という2編構成であったのに対し、今回は、1章にて総則、2章では高耐久化に向けた基本原則として計画、設計の段階に関する記述をまとめている。高耐久化の戦略、その具現化方策としてのシナリオの構築には、計画、設計段階からの対応が重要であることを考慮した結果である。また、3章では新設するPC構造物に対する方策を、4章では既存のPC構造物の維持管理手法ならびに点検方法、劣化機構の推定、劣化予測と性能の評価、その対策について記述

*1 Makoto OTA：大成建設(株) 土木本部 土木技術部

*2 Keiichi AOKI：中日本高速道路(株) 名古屋工事事務所

*3 Kyoji NIITANI：オリエンタル白石(株) 技術研究所

している。とくに、PC 構造物の補修および補強に関しては、具体的な記述に心がけ、実務での有用性を高めることとした。

2.2 ガイドラインの位置付け

PC 工学会においては、2011 年に性能創造型設計による「コンクリート構造設計施工規準」を発刊し²⁾、新しい構造設計概念を提示している。この規準は、設計行為の創造的な重要性の考えから作成されたものである。すなわち、あらかじめ構造物に必要な機能を定め、これを満たす性能を有するものを創造的に設計施工する概念が基本として採り入れられ、さらには、供用開始後の性能の変化の観点から維持管理についても言及されている。したがって、耐久性そのものに関しては、この上位規準の枠組みに含まれているとの認識のもとに、一層の耐久性の確保（高耐久性）とその評価、維持管理を含めた保全の位置付け、社会の持続発展性と耐久性との関係などの体系的なルール化が改訂作業の戦略の基本と考えた。したがって、ガイドライン改訂に際し目標としたことは、性能創造型設計の概念のなかで一步進んだ高耐久な PC 構造物を目指すことの意義とその保全を検討すること、また既存の PC 構造物の一層の耐久性向上や補強などを課題とすることとした。そのため、成果物は、規準ではなく、「ガイドライン」の範疇とすることとし、その名称を「PC 構造物高耐久化ガイドライン」とした。

図 - 1 に PC 工学会発刊の諸規準と本ガイドラインの関係を示す。

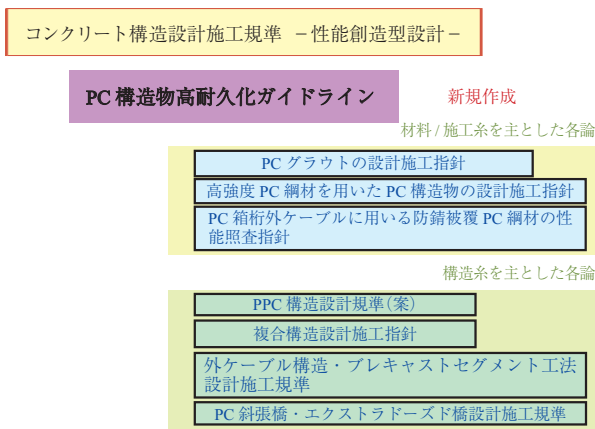


図 - 1 PC 工学会発刊の諸規準と本ガイドラインの関係

2.3 高耐久の考え方

高耐久とは何を意味するのかは、本ガイドラインの 1 章総則において示されているが、ポイントを整理すると以下の 2 点である。

- ① 本ガイドラインの適用の範囲は PC 構造物とし、高耐久を実現するために必要な計画・設計・施工上の配慮事項と維持管理のための標準的な方法を示している。とくに、設計・施工、維持管理の個別の検討では十分ではなく、ライフサイクルを通じた配慮を計画段階から行っていくことが不可欠であることを示している点。
- ② PC 構造物が保有している耐久性を設計供用期間にわたり維持することと、場合によってはさらに引き上げる

ことの双方をもって高耐久とするとしている点。

これらは、性能創造型設計の思想の通り、機能と性能の関係性を時間軸を加えた構造物のライフサイクルのなかで考慮することを反映したものである（図 - 2）。

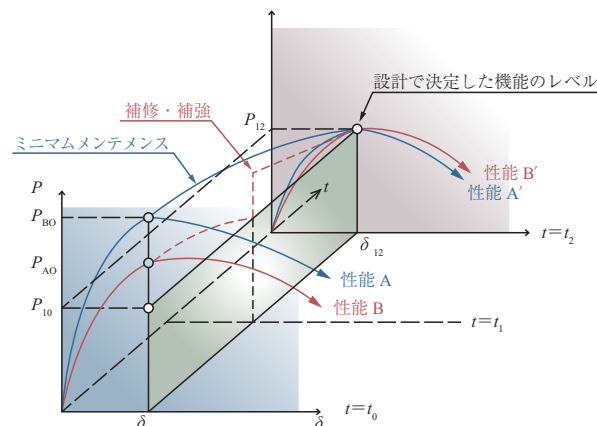


図 - 2 ライフサイクルにおける機能と性能の関係

2.4 高耐久化に向けた基本原則

第 2 章において基本原則を示している。本章のポイントは以下のとおりである。

- ① PC 構造物の高耐久化の実現のためには、その特性を考慮し、ライフサイクルを通じたシナリオを適切に設定し、その実現可能な計画を策定すること。
- ② PC 構造物の計画において、要求される機能を明確にし、維持管理方針を定め、その方針が可能となるように構造形式、使用材料、応力状態、施工方法および性能を定めること。
- ③ 既設構造物の補修・補強の計画では、損傷要因や劣化機構に応じた対策の実施可能性や効果、補修・補強などの対策の実施が構造物の供用性に与える影響を勘案し、対策実施後の維持管理手法を定めておくこと。
- ④ 高耐久化に向けては各種の調査が必要となること。
- ⑤ 構造物の計画に際して、構造物が自然、社会等の環境に与える影響を考慮する必要のあること。

3. 新設 PC 構造物

本章は、新設する PC 構造物を対象に、高耐久化に向けた設計面での配慮、高耐久化に向けた施工面での配慮、高耐久化に向けた材料面での配慮、検査、複合構造に関して示している。なお、PC 構造物は 2 章で示しているとおり、シナリオを設定し、設計、施工、維持管理を行うことが基本であるが、PC 構造物を補修・補強する場合はその効果検証や施工が困難となる場合が多い。このため、より高耐久化となる事例を解説で示すなど、計画や設計段階で配慮すべき点を中心に記載している。本章におけるポイントは、以下のとおりである。

3.1 高耐久化に向けた設計面での配慮

計画・設計段階での配慮事項として、計画段階で定めた維持管理のシナリオを考慮し、所要の機能が確保できる性能を有するとともに点検の容易さなどに配慮することを記載している。たとえば、点検方法の標準化、点検スペース

等の配慮、PC再緊張への配慮があげられる。

また、性能照査にあたり、時間的変化を含む考慮すべきすべての状態において、構造物が確保すべき性能を満たすことを適切な照査指標を用いて照査することとしている。しかし、耐久性照査は現段階では劣化予測モデル式等が確立していないものもあり、既往の実績を確認することで照査としてよいこと、実証データを保存し今後活かすことが重要であることを解説で記載している。

なお、照査においては、想定される劣化機構に応じた適切な限界値の設定を行うこととし、中性化、塩害、凍害について事例を示している。

構造細目に関する検討では、PC構造物でもっとも多く見られる水処理の不具合（写真-1）の対策として、水切り部の対策、桁端部の防水やPC鋼材の上縁定着禁止について解説している。



写真 - 1 水切り部の劣化事例

3.2 施工面での配慮

高耐久化に向けた施工面での配慮としては、施工上の留意点を挙げるとともに、コンクリート工、緊張工、グラウト工、防水工、表面保護工、品質管理の観点から配慮すべき事項を記載している。

3.3 材料面での配慮

高耐久化に向けた材料面での配慮は、従来の材料を用いて高耐久化をさせる場合、ある性能を付与させて高耐久化を図る場合の2とおりの考え方があるが、ここでは、後者の事例を紹介している。具体的には、樹脂被覆PC鋼材、プレグラウトPC鋼材、エポキシ樹脂塗装鉄筋、耐食性に優れたシース（ポリエチレンシース）、高性能コンクリートとして高流動・高強度・高耐久コンクリート、被覆結束線、スペーサー、セパレータについて記載している（写真-2）。

3.4 検査

検査は、品質が判定基準に合致しているか否かを判定する行為であるが、合理的かつ経済的な検査を実施するには、施工プロセスに応じて行うことが現実的である。このため、発注者および受注者が十分に協議し、これを施工計画に反映させることが肝要である。

3.5 複合構造

世界有数の複合構造物を有するようになったわが国にお

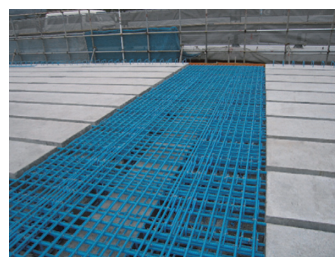


写真 - 2 エポキシ樹脂塗装鉄筋と被服結束線

いて、その事例から、計画、設計、施工、維持管理での配慮事項を示している。

具体的には、波形鋼板ウエブ橋や複合トラス橋、混合構造、複合アーチ橋の事例から、その接合部の防錆方法（写真-3）、混合構造におけるコンクリートの充填性、モニタリングへの配慮について記載している。とくに、複合構造は、いまだその歴史は浅いため、キャンバー等の定期測量等のモニタリングを行い、その性状の検証を行い、今後の設計・施工へ反映させることによって、更なる複合構造の発展に寄与できることから、積極的にモニタリングを行うことが望ましい旨を記載している。



写真 - 3 複合トラス橋の接合部の防錆

4. PC 構造物の維持管理

本ガイドラインの4章は、「PC構造物の維持管理手法および高耐久化のための配慮」であり、総則、点検、劣化機構の推定および劣化予測と性能評価、対策から構成されている。本章では、既設PC構造物を対象として、耐久性確保あるいは耐久性向上に必要な維持管理手法、および高耐久化のために配慮すべき事項を述べている。図-3に維持管理の標準的なフローを示す。

PC構造物は、元来耐久であるが、健全に使い続けていくためには、適切な維持管理が不可欠である。維持管理は、機能維持のための予防保全型の維持管理、および事後保全型の維持管理が一般的である。一方、社会インフラの長寿命化が求められる昨今、当初の予定供用期間を超えて既設構造物を使い続けるニーズの増加が想定される。あるいは、計画に定められた維持管理を軽減するため、さらな

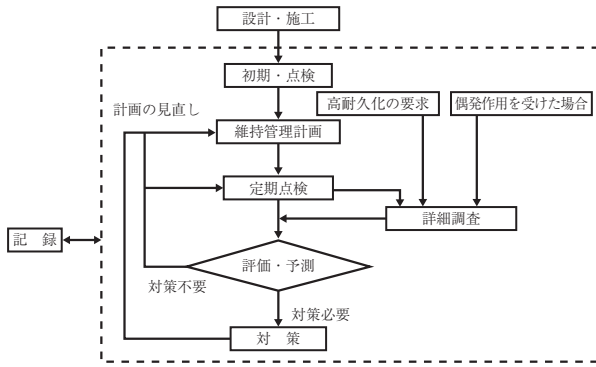


図 - 3 維持管理の標準的なフロー

る高耐久化を図ることのニーズの増加も想定される。いわゆる、機能向上のための予防保全型の維持管理である。このような場合では、ライフサイクルコストの観点から、経済性に基づく評価が重要である。いずれの種類の維持管理を行う場合も、過剰な高耐久化は不経済であり、シナリオの見直しによる合理性の確認が不可欠である。

4.1 点 検

点検では、PC 構造物を対象とした点検の原則を示すとともに、点検種別に応じた点検時の留意点、調査項目および調査方法などを示している。

PC 構造物を対象としていることを特徴とした各種点検の留意点は、以下のような事項を示している。初期点検においては、PC 鋼材定着部や偏向部、施工目地や開口部など、PC 構造物特有のひび割れに着目することが重要である。日常点検では、巡回による目視点検が主体となるため、水に関する変状を主に確認することが有効である。定期点検では、近接点検が基本となるため、全体的にかつより細部まで点検が行える。PC 構造物特有の着目点としては、PC 部材に発生する曲げおよびせん断ひび割れ、PC 鋼材にそったひび割れやエフロレッセンス、施工目地からの漏水、鋼・コンクリート接合部の腐食などがあげられる。

表 - 1 に PC 構造物の調査項目と主な調査方法を示す。また、点検における調査に関しては、調査項目、調査方法を一覧表の形で示している。

4.2 劣化機構の推定および劣化予測と性能評価

ここでは、PC 構造物の適切な維持管理の実施のために、各部位・部材に発生している劣化現象に対して劣化機構を推定し、劣化機構に基づいた劣化予測と性能評価を行うことを述べている。また、劣化予測と性能評価にあたり、PC 鋼材の腐食による断面欠損や破断など、PC 構造物特有の劣化機構に配慮するとともに、劣化予測と性能評価では、PC 鋼材腐食因子の侵入経路や部材変状の状況を、外観目視および非破壊試験などによって把握することの重要性を示している。図 - 4 は、RC 構造物と PC 構造物の劣化過程の違いのイメージである。PC 構造物は、RC 構造物に比べて、ひび割れ発生から耐力喪失までの時間が短い。したがって、PC 構造物の維持管理では、ひび割れ発生だけを劣化開始の目安とするのではなく、日々の定期点検の段階から水などの劣化因子の侵入が生じていないか、注意しておくことが重要である。

表 - 1 PC 構造物の調査項目と主な調査方法

調査項目	調査方法	
外観の変状	PC 鋼材の腐食、破断の有無 定着部および偏向部の変状の有無 目地部の開口 ひび割れ状態：(方向性、密度、幅、角欠けの有無) 漏水、エフロレッセンス、コンクリートの色合い 鋼材 (波形鋼板ウェブ鋼トラス部材等) 鋼・コンクリート接合部	目視 写真撮影 打音
PC ケーブルの状態	PC 鋼材量 PC 鋼材の位置、種別、かぶり、配置状態 PC 鋼材腐食状況 定着具および偏向具の状態 PC グラウトの充填状況 斜材および外ケーブルの張力 PC 鋼材の振動	設計図書 はつりによる方法 電磁誘導法、電磁波レダグ法、超音波法 削孔、ファイバースコープ 打音法、衝撃弾性波法、強制振動法、磁歪センサ法 目視、加速度計による振動計測
プレキャストセグメント目地の挙動	開閉量 段差量	コンタクトゲージ等 載荷試験
耐荷特性	コンクリート強度 残存プレストレス	テストハンマー、コア試験 応力測定法、変形測定法 載荷試験

本書で取り扱う劣化機構は、施工に起因する劣化、塩害、中性化、凍害、アルカリシリカ反応、想定外の収縮・クリープ挙動、複合劣化、付属物の性能劣化、その他であり、それぞれの発生機構、発生原因、特徴と注意点を示している。PC 構造物特有のものとしては、次のような事項が挙げられる。施工に起因する劣化では、グラウトの充填不良や PC 鋼材の定着部・偏向部の施工不良に起因するものがある。想定外の収縮・クリープは、プレストレスの低下による耐荷性や使用性の低下につながるため、劣化機構として取り上げた。また、複合構造の鋼材の腐食についても、注意が必要である。

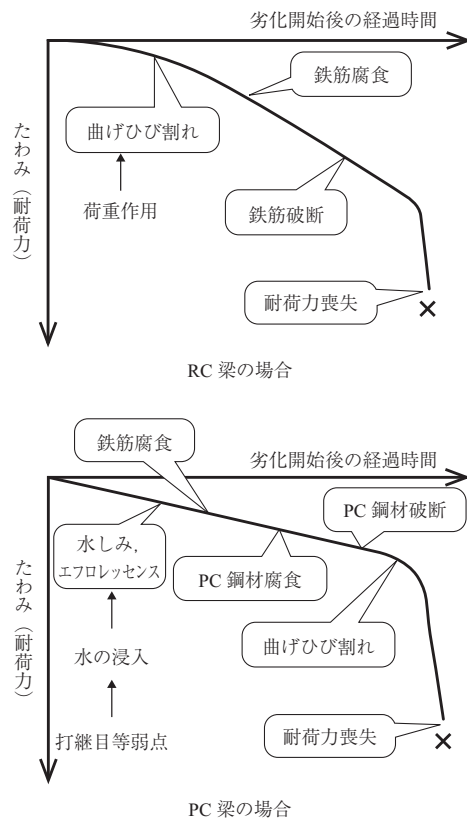


図 - 4 RC 梁と PC 梁で予想される劣化過程

4.3 対 策

対策では、PC 構造物の対策の要否判定、対策の原則、対策の種類と選定、補修および補強の原則、補修および補強の設計、補修および補強の施工、補修および補強後の維持管理計画、PC 構造物の補修および補強工法を示した。

図 - 5 は、一般的な対策の必要性の判定の流れを示す。対策の要否は、点検結果に基づく PC 構造物の特性を考慮した性能評価および将来の性能予測結果が、構造物の果たすべき機能を満足するかどうかの評価に加え、維持管理の難易度、構造物の重要度、残存予定供用期間、経済性などを考慮して判定することを原則とする。また、先に述べたように、ライフサイクルコストの観点などから、機能向上のための予防保全型の維持管理として対策を行う場合もある。

PC 構造物特有の補修・補強工法としては、PC 鋼材補修工法、PC 鋼材取替工法、PCT 桁橋間詰め床版コンクリート補修工法、プレストレス導入工法、連続化工法、斜ケー

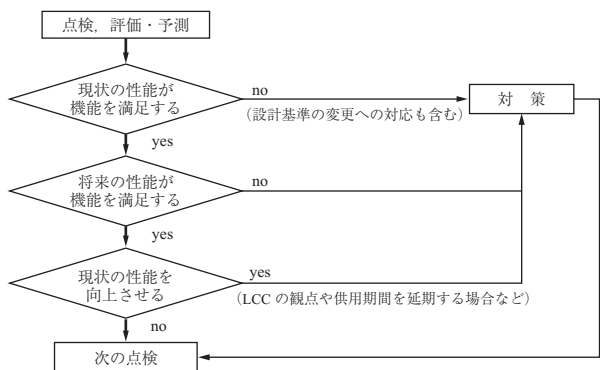


図 - 5 対策の要否判定の流れ

ブルおよび外ケーブル取替工法を示し、それぞれの工法の解説とその工法の実施に際し、はずしてはならない重要な点を「勘所」として記載した。さらに、PC 構造物に適用する一般的な補修・補強工法として、表面処理工法、断面修復工法、ひび割れ補修工法、電気化学的防食工法、打換え工法（取替え工法）、接着工法、増厚工法についても解

説し、同様に勘所を記載した。

5. おわりに

今回発刊した「PC 構造物高耐久化ガイドライン」は、新設ならびに既設の PC 構造物を対象として、高耐久化のための配慮および維持管理手法を示したものである。本書のタイトルから「高耐久化」に目が行きがちであるが、あくまで経済的で合理的な PC 構造物の建設と維持管理を目指したものであり、過度な高耐久化をすすめるものではないことに注意いただきたい。

いよいよ、わが国では「造りこなす時代」から「使いこなす時代」となった。コンクリート構造物は、上手に使いこなせば、長期にわたって国民の生活を支えてくれるはずである。そのためには、構造物ごとにその特徴を掴んで、上手にシナリオを立てることがもっとも重要である。本ガイドラインがその一助となれば幸いである。

PC 構造物の高耐久化・保全に関するガイドライン 作成委員会

委員長 宮川 豊章

副委員長 横田 弘

委員 細田 暁, 武若 耕司

[設計施工 Gr] 渡辺 博志 (主査), 青木 圭一 (副主査),
津吉 毅, 大場 誠道, 三島 康造,
大久保 孝, 大淵 将宏, 堤 忠彦 (連絡幹事)

[維持管理 Gr] 岩波 光保 (主査), 二井谷 教治 (副主査),
山路 徹, 谷村 幸裕, 酒井 秀昭,
増井 隆, 安藤 直文, 今尾 勝治,
真鍋 英規, 小原 淳一, 並木 渉,
佐藤 忠宏, 太田 誠 (主幹事),
花鳥 崇 (連絡幹事), 岡本 裕昭 (連絡幹事,
～2013年4月まで)

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：PC 橋の耐久性向上マニュアル, 2000.11
- 2) プレストレストコンクリート工学会：コンクリート構造設計施工規準 -性能創造型設計-, 2011.9

[2015年7月22日受付]



図書案内

PC 技術規準シリーズ

PC 構造物高耐久化ガイドライン

2015年4月

定 価 4,800 円 / 送料 300 円

会員特価 4,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会 編

技報堂出版