

◆ 特 集 ◆

メンテナンス

# PC 構造物のメンテナンス

宮川 豊章\*

## 1. メンテナンスと耐久性設計

コンクリート構造物は適切に設計、施工した場合きわめて耐久性に富む構造形式である。しかし、いくら耐久性に富むとはいっても、長年月を経れば、劣化はやはり供用年数とともに生じ、そして次第に進む。20世紀は、第二次世界大戦後を典型とするように、コンクリート構造物を作ることがもっとも重要な時代であった。しかし、21世紀は、作るとともに、20世紀に蓄えた膨大なコンクリート構造物を使いこなす時代になる。使いこなすためには、この劣化を克服するメンテナンスが必要となる。そのためたとえば、すでに社会インフラ設備が成熟している英国などでは、メンテナンスへの対応で、建設会社やコンサルタントの差別化が進んでいる<sup>1)</sup>。

構造物は、要求される期間、要求される水準の機能を発揮するように設計することが要求される。機能では工学的に定量化し難いので、構造物あるいは部材に要求される性能を、設計供用期間のあいだ、適切な信頼性をもって必要な水準で確保する、と読み替えられるのが一般である。そのためには、構造物あるいは部材の性能の経時的な変化を把握することが必要である。しかし、現在の工学レベルでは厳密な照査、時系列解析が困難である場合が多い。そのため、予想される劣化メカニズムにおいて耐久性上の限界状態を設定し、劣化モデルおよびそれに基づく劣化レベルに区分、つまりグレード分けすることによって照査される場合が多い。

このような手続きを経て、単なる劣化に対する抵抗性という定性的なものではなく、設定された劣化つまり性能低下の区分にいたらない抵抗性、つまり耐久性能として取り扱うことができ、耐久性照査を行う定量的な取り扱いが可能となる。この結果として耐久性設計が成立し、また同時に、メンテナンスをライフサイクルの中に組み込む考え方が可能となったのである。

## 2. スクラップ・アンド・ビルドの黄昏

メンテナンスの水準が異なれば、設計、施工の水準も異なっており、良いはずである。いいかえれば、メンテナンスを行わない場合、設計、施工は十二分な余裕をもって行う必要がある。モニタリングを含む詳細な管理体制を予定する場合には、余裕は少なくとも良いはずである。したがって、メンテナンスは設計、施工に対して大きな影響を与えるのである。耐震設計の観点から、東海地震あるいは東南海地震などの被害予測がマスコミをにぎわせている。地震はいつか来るであろう。しかし、劣化は現在すでに進んでいるのであり、耐震性能上からもメンテナンスは焦眉の急といっている。

しかも、コンクリート構造は、今も日々新しい材料、構造、技術が開発され、それに伴って新しい劣化現象が知られている現実がある。これらの新しい知見の完璧な体系化を待つことは、確かに望ましいことではあるが、いたづらに待っているのみでは、既存構造物のメンテナンスはもちろん、新設構造物の設計、施工も不可能に近い。これらの新しい知見をコンクリート構造に活かすためには、メンテナンスをシナリオ化し、メンテナンスの結果を利用しながら構造物を管理するのが工学的には適切であろう。

設計にあたっては、設計供用期間の間、適切な信頼性と十分な耐久性を有し、供用にあたって十分な性能を発揮することが重要である。このためには、適切なメンテナンス戦略、いいかえれば、構造物の時間的なシナリオが、構造物の設計概念の一部をなしていなければならない。したがって、コンクリート構造物の性能は、本来、メンテナンスを念頭においたシナリオによってはじめて具体的となる。単純なスクラップ・アンド・ビルドの時代は終わったのである。

## 3. PC 構造物であることの意味

普通の鉄筋コンクリート（以下、RCと略記）と比べて、プレストレストコンクリート（以下、PCと略記）に用いられるコンクリートは高強度であり、水セメント比の小さなコンクリートが用いられる。したがって、コンクリートそのものについて耐久性に富むとともに、中性化や塩害などの原因物質である二酸化炭素や塩化物などの侵入量が少なく、中性化や塩害などの劣化機構の観点からも耐久性は高い。しかも、プレストレスによりひび割れがRCより小さく制御されるために、ひび割れに起因する有害物質の侵入も少なく、やはり耐久性に富むことになる。

しかし、PCにもメンテナンスが必要であることはいうま



\* Toyoaki MIYAGAWA

京都大学大学院  
工学研究科 土木工学専攻

でもない。現実には、日本海沿岸における塩害、海砂使用による塩害、グラウト不良に起因した緊張材の腐食などが生じている。図-1にPC橋の変状と劣化機構・劣化要因の関係を示す。われわれはPC構造の高耐久性に依存しすぎたという側面もあるといえよう。

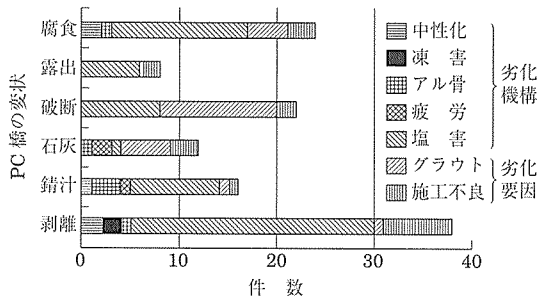


図-1 PC橋の変状と劣化機構・劣化要因との関係

しかも、一旦腐食した場合には、PC緊張材として高強度鋼材を用いているだけに、構造物の力学的性能に与える影響はRCに比べてはるかに大きい可能性が高い。また、プレストレスングされている鋼材は、水素脆化などに起因する遅れ破壊を生じる可能性もある。これらの鋼材腐食以外にも、水セメント比が小さいことによる富セメント量に起因してアルカリ量が多くなり、アルカリ骨材反応が生じやすい可能性もないではないのである。

したがって、PC構造物にあつては、通常のRCあるいは無筋コンクリート構造物とはまた異なった観点からのメンテナンス手法が要求される。

#### 4. コンクリート構造物のメンテナンス

まず、一般的なコンクリート構造物のメンテナンスについて、土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕(以下、〔維持管理編〕と略記)にしたがって紹介したい。〔維持管理編〕の基本的な考え方は以下のとおりである。

- ①初期点検、劣化予測、点検、評価、判定、対策、記録の流れとする。
- ②メンテナンスの水準が設計、施工に与える影響を考慮して、構造物の総合計画の段階でメンテナンスを考慮する。
- ③性能照査を含む性能規定型の記述とする。〔維持管理編〕における記述の階層構造を図-2に示す。なお、性能としては安全性能、使用性能、第三者影響度に関する

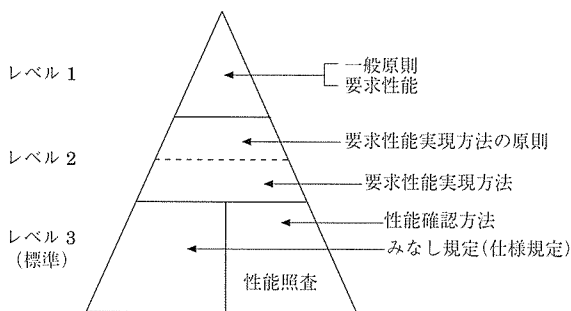


図-2 性能規定の階層構造

性能、美観・景観、およびこれらの耐久性能の5つを中心として考慮する。点検時および予定供用期間終了時における評価、判定を行う形で、時間軸を考慮した性能照査の基本としている。

④図-2の階層構造を受けて、基本的な考え方およびメンテナンスの流れを示す「維持管理」とより具体的な方法を示す「維持管理標準」との2部構成とする。

⑤維持管理区分について、技術者の行為を考慮した水準として設定する。

〔維持管理編〕目次の概要を図-3に示す。第一部では一般的なメンテナンス行為を時系列的に示している。健全なコンクリート構造物の場合には、この第一部を中心としたメンテナンス行為、とくに詳細点検を除いた部分でほぼ対応できる。これに対して第二部には、中性化や塩害など、劣化機構を特定したうえでより具体的なメンテナンス行為を示している。したがって、劣化したあるいは劣化が予想される構造物の場合には、この第二部がきわめて重要となる。これらの2部を有機的に組み合わせて用いることにより、技術者にとって用いやすく、有用な〔維持管理編〕になるのである。

第一部「維持管理」	第二部「維持管理標準」
1章 総則	13章 中性化維持管理標準
2章 構造物の要求性能	14章 塩害維持管理標準
3章 維持管理の基本	15章 凍害維持管理標準
4章 劣化機構の推定	16章 化学的侵食維持管理標準
5章 初期点検	17章 アルカリ骨材反応維持管理標準
6章 日常点検	18章 鉄筋コンクリート床版の疲労維持管理標準
7章 定期点検	19章 鉄筋コンクリートはり部材の疲労維持管理標準
8章 詳細点検	
9章 臨時点検	
10章 試験および調査の方法	
11章 対策	
12章 記録	

図-3 2001年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕の目次構成

#### 5. PC構造物のメンテナンス

PC構造物においても、〔維持管理編〕と同様のメンテナンスが要求されるのは当然である。しかし、すでに述べたように無筋やRCの構造物とはまた違った観点が要求される。本稿では、とくにPC構造物にターゲットを絞って作成された、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 第二部維持管理編」(以下、マニュアルと略記)にしたがって紹介したい。マニュアル目次の概要を図-4に示す。

マニュアルは、基本的には〔維持管理編〕の作成方針に従って作成された。しかし、PC実務者が利用しやすいマニュアルを作成することを目的として、〔維持管理編〕の第一部および第二部を有機的に組み合わせるとともに、PC橋に対する有効な見なし規定がより多く取り入れられている。この観点から、PC橋の主要点検部位とそこに発生する変状の例および点検に用いるチェックシートの例が示されている。なお、PC橋特有のものとして、想定外の収縮・クリープ挙動および付属物の機能低下を取扱っている。

第一部 設計・施工編

- 1章 総 則
- 2章 材 料
- 3章 設 計
- 4章 施 工
- 5章 橋梁付属物
- 6章 初期点検
- 7章 新構造・新技術における耐久性向上のための留意点

第二部 維持管理編

- 1章 総 則
- 2章 点 検
- 3章 劣化機構の推定および劣化予測
- 4章 評価および対策
- 5章 補修・補強工法
- 6章 記 録

参考資料

- 1. 既存文献調査結果
- 2. 補修・補強工法の種類
- 3. 補修・補強選定例

図 - 4 PC 橋の耐久性向上マニュアルの目次構成

また、詳細点検の目的を明確にするため、近接するが特別な計測機器を用いない詳細一次点検と試験・計測を行って劣化指標を明確にするために実施する詳細二次点検を分類して行うこととし、PC 橋の詳細二次点検に用いられる各試験方法の概要が示されている。

図 - 1 から、PC の劣化事例としては、塩害を劣化機構とするものがほとんどであったことが明らかとなっている。また、耐荷特性などの PC 橋の性能に大きな影響を与えると考えられる PC 鋼材の破断現象は、多くの場合、グラウトの充填不足を劣化要因として生じている。海外においては、1985 年に英国の Ynys-y-Gwas 橋（ポステン I 形単純桁橋）がグラウトの充填不足を直接的原因とした塩害により落橋<sup>2)</sup>したことが報告されており、グラウトはますます

重要視されるようになった。そこで PC 橋の内的劣化要因にグラウトの充填不足があることを明記するとともに、この劣化要因による劣化の特徴が詳述されている。

既設 PC 橋の劣化状況の評価および補修・補強などの対策の選定は、PC 鋼材の腐食発生限界状態に対して行うこととされている。これは、PC 鋼材の腐食進行状況が PC 部材の性能に多大な影響を与えることを考慮したものである。変状が顕在化した既設 PC 橋に対して詳細点検等が行われ、腐食しているのはコンクリート表面部の鉄筋で PC 鋼材は健全であることが確認された場合、適切な補修を実施すれば、耐荷性能などの既設 PC 橋の性能はほとんど低下しないことが知られている。

補修工法の選定では、各劣化機構に対する補修方針および適用可能な補修工法を示すと同時に、PC 橋特有の事項として大規模な断面修復および電気化学的補修工法等を適用する場合の留意点が示されている。PC 橋は一般には全断面有効として設計されているので、コンクリート断面を大きくは取り取る場合には部材応力に影響が及ぶこともあるので注意する必要がある。さらに、補強工法の選定では、表 - 1 に示すように、一般的なコンクリート部材の補強工法の他に、PC 橋の機能を改善する主桁連続工法や支承の補強および橋脚の補強等も加えられている。

6. メンテナンスの将来

コンクリート構造物のメンテナンスは、計画、建設、供用（メンテナンス）、解体、廃棄あるいは再利用といった一連のサイクルの一過程であり、この一連のサイクルにおける総合的な考え方のもとに要求される性能を確保するための行為である。とくに解体から再利用の過程においては、資源の有効利用を進めるとともに、排出される二酸化炭素、

表 - 1 対称部位による補強工法の分類

補強目的	分類	対策の概要	工法名
部材の補強	接着	・既設の床版や主桁に鋼板または連続繊維シートを配置し、既設部材との一体化を図り合成構造とすることにより耐荷力を向上させる工法	・鋼板接着工法 ・連続繊維シート接着工法
	増厚	・既設部材の上面、下面に鉄筋などを配置し、コンクリートやモルタルを打設することによって抵抗断面を増加させ、耐荷力を確保する工法	・上面増厚工法 ・下面増厚工法
	プレストレス導入	・既設部材の外側に PC 鋼材を配置して、プレストレスを導入することにより、耐荷力を向上させる工法	・外ケーブル工法
構造体としての補強	主桁の連結	・隣接する主桁、端支点部の床版や横桁部を連結することで、外力を分散・減少させ、必要な耐荷力を確保したり、耐震性の向上を図る工法	・主桁連続化工法
	支持	・既設支持点の他に支持点を増設することによって、外力を分散、減少させ、必要な耐荷力を確保する工法	・支持点増設工法
支承の補強	支承取り換え	・主桁を仮受けし、既設支承を撤去した後に、新設支承を設置することによって、支承の機能や耐震性を向上させる工法	・支承取り換え工法
	支承の補強	・既設支承部材の補強や交換、あるいは落橋防止装置を増設することによって耐震性を向上させる工法	・支承補強工法
橋脚の補強	プレストレス導入	・既設橋脚を PC 鋼線で巻き立てて、プレストレスを導入したり、壁式橋脚の壁厚方向にプレストレスを導入することによって、既設橋脚の耐震性を向上させる工法	・PC 巻き立て工法 ・壁式橋脚プレストレス導入工法

エネルギー消費、環境負荷の低減を目指す必要があり、“持続可能な発展”を実現するためには、これらに十分に配慮したメンテナンスが求められる。

コンクリート構造物が設計される場合、対象とする構造物に起こりうる最悪の外乱であっても、安全性、使用性が保証されることが要求される。従来は耐震設計に見られるような空間的なシナリオ、つまり荷重作用下における力学的挙動のシナリオが中心であったが、近年は時間的なシナリオ<sup>3)</sup>が注目されるようになってきた。現在世界的な潮流となっている性能設計とは、所有者あるいはその代理人の要望を設計者が性能という形に翻訳し、その性能を達成するように設計することであって、技術者である設計者が代理人に対して、構造物がどのように挙動するかを明確に示す必要がある。これに対して代理人は対象とする構造物をどのように挙動させたいかを要求しなければならない。ここでは、代理人には所有者に対してシナリオの適切なアカウンタビリティ（説明責任）が要求される。

性能規定あるいはそのツールとなる性能照査は、構造物の「機能」を「性能」という形で工学的に翻訳することによって成り立っている。ここでは、抽象的な機能を第一にして、人間の目に映る生き生きとした他の現象を切り捨ててしまう、いわば机上の空論に陥ってしまう危険性がないではない。したがって、コンクリート構造物の良さをこれからさらにうまく引き出すためには、地震が作用した場合の挙動や、安全性能、使用性能、第三者影響度に関する性能、および美観・景観の経時変化について、つまり、コンクリート構造物の時空間内における挙動をあらかじめシナリオとして設定し、これが荷重的、環境的に、また経済的に達成可能かどうかを照査し、判定する、という手順を取るのがもっともわかりやすい。これによって、コンクリート構造物を空間的にも時間的にも設計できるといえ、21世紀の“持続可能な発展”を達成することができる。今こそ、コンクリート構造物のためのシナリオを創造するときなのである。

## 7. メンテナンス技術の最前線

構造物は、適切にデザインされたシナリオに基づいてメ

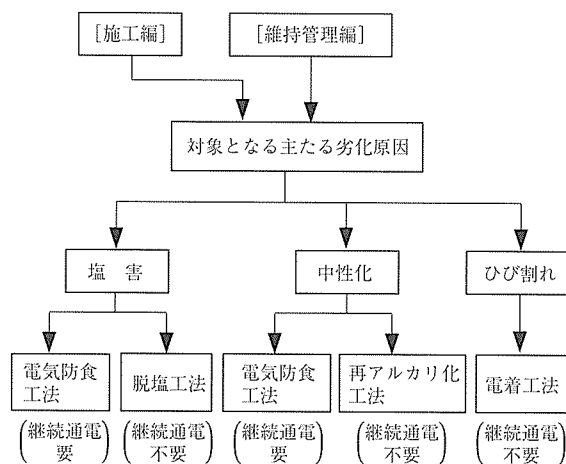


図 - 5 電気化学的防食工法選定のフロー

ンテナンスされるべきである。しかし、現在の段階では、ライフサイクルコストに関する精力的な報告書<sup>4)</sup>が出はじめてはいるものの、シナリオに基づくライフサイクルコストを用いた戦略的なメンテナンスの重要性を示すことができてにすぎない場合が多い。とくに PC については今後さらに検討すべき事項は多い。

今後の展開にあたっては、ハード技術に関連して診断、補修など各種要素技術の高信頼化、ソフト技術に関連してマネジメントシステムなど知識の体系化、の2種類の検討が要求されよう。なお、現在議論的となっている、構造物の資産価値をコスト評価に組み込むアセット・マネジメントの考え方は、現在の資産価値の低下を防ぐ目的から、より一層メンテナンス費用をシナリオとして組み込みやすいものと考えられる。

とくに、補修・補強工法については、電気防食、脱塩、再アルカリ化などの電気化学的補修工法（図 - 5 参照）<sup>5)</sup>や、健全なコンクリート部分への悪影響を小さくするとともに施工速度の向上を目的としたウォータージェット工法のコンクリートはつり工への採用<sup>6)</sup>など、きわめてその開発速度は速い。大阪で開催された fib 大阪コンgres 2002 においても、メンテナンス関係の報告がずいぶん行われた。さらに、日本材料学会では、毎年秋に京都で、「コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム<sup>7)</sup>」を開催し、最新のメンテナンス、補修、補強技術が紹介されている。是非参考にされることをお勧めする。

最後に、本稿を作成するにあたってご協力いただいた、ドービー建設工業<sup>(株)</sup>の濱田譲氏に謝意を表して結びとしたい。

### 参考文献

- 1) 中野目純一：大改修時代の到来で激変する公共事業，日経コンストラクション，No.310，pp.36-57，2002.8
- 2) R. J. Woodward and F. W. Williams：Collapse of Ynys-y-Gwas Bridge, West Glamorgan, Proceeding of The Institution for Civil Engineers Part 1, Aug. 1988
- 3) 宮川豊章：土木コンクリート構造物のためのシナリオ，セメント・コンクリート，No.632，pp.20-26，1999.10
- 4) ACC 倶楽部技術委員会：ライフサイクルコスト適用検討研究会報告書，2002.6
- 5) 土木学会：電気化学的防食工法設計施工指針（案），2001.11
- 6) メンテナンス・エンジニアリング研究会：ウォータージェット工法・吹付け工法によるコンクリート構造物補修マニュアル（案），2002.6
- 7) 日本材料学会：コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文報告集，Vol.1&2，2001.10&2002.10

【2002年11月14日受付】