

# プレストレストコンクリート構造物の維持管理

宮川 豊章\*

## 1. はじめに

コンクリート構造物は本来“丈夫で美しく長持ち”しなければならないものであり、現実には“丈夫で美しく長持ち”した数々の構造物を今も見ることができるとくに、プレストレストコンクリート（以下、PCと略記する。）構造物は通常の鉄筋コンクリート構造物と比べても、使用コンクリートそのものが高耐久性を有し、しかもひび割れが制御されているため、耐久性にはるかに優れることが知られている。しかし、計画・設計・施工・維持管理が結果的に適切でない場合にあっては必ずしもそうとはならないこともまた事実であり、その実例（写真-1、2）も報告されている。さらに、当初に想定された耐用期間を大きく超えて、超長期の供用期間となった場合にはその耐久性の限界を超える場合がある。種々の劣化現象は、やはり供用年数とともに生じるのである。

本稿では、PC構造物とくに橋梁を中心として維持管理の現状と課題を概観する。

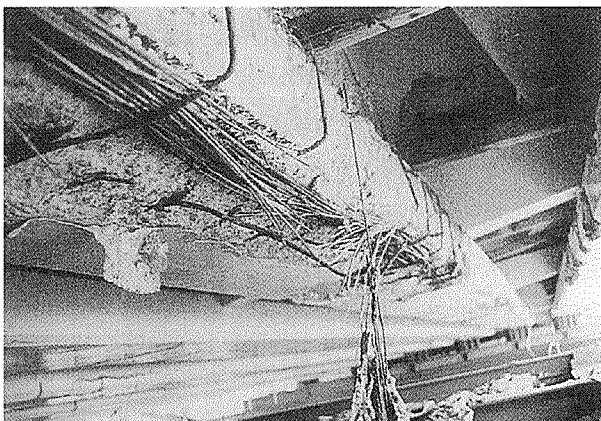


写真-1 塩害

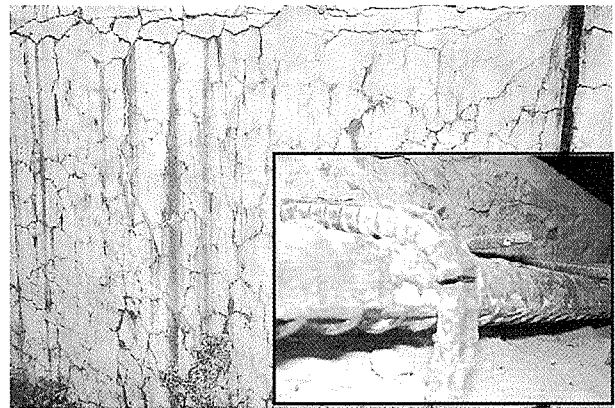


写真-2 アルカリ骨材反応

## 2. プレストレストコンクリート構造物の現状と将来

高度成長期を通じて蓄積された膨大な土木構造物群が維持管理の時代を迎えようとしている。PC構造物についても図-1<sup>2)</sup>に示すように建設された蓄積があり、高齢化世代といってよい構造物が多くなってきている。“造る時代から、使いこなす時代”となったのである。ところが、建設にかかわる投資は十分な額ではなくなってきている現実がある。したがって、維持管理にかかわる新たな技術開発、技術水準の確保の必要性はもちろんのこと、市民に対して説得力をもつ適切な維持管理が必要とされている。

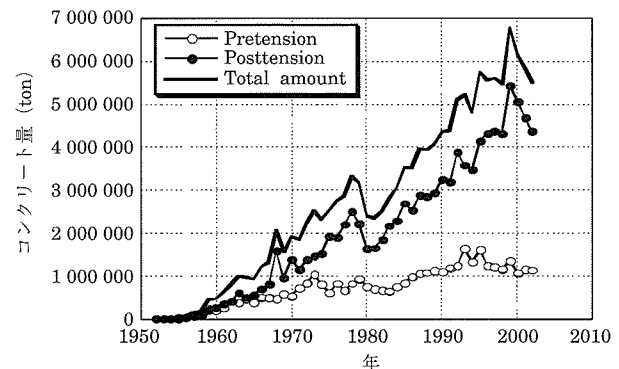


図-1 PC構造物建設量の推移<sup>2)</sup>

PC橋の劣化要因を図-2<sup>3)</sup>に示す。想定される要因は通常のコンクリート構造物と大きく異なるものではないが、PC特有のものとしてグラウトにかかわる要因を見ることができる。事例調査の結果から得られた、PC橋の劣化現象と劣



\* Toyoaki MIYAGAWA

京都大学大学院工学研究科  
社会基盤工学専攻 教授

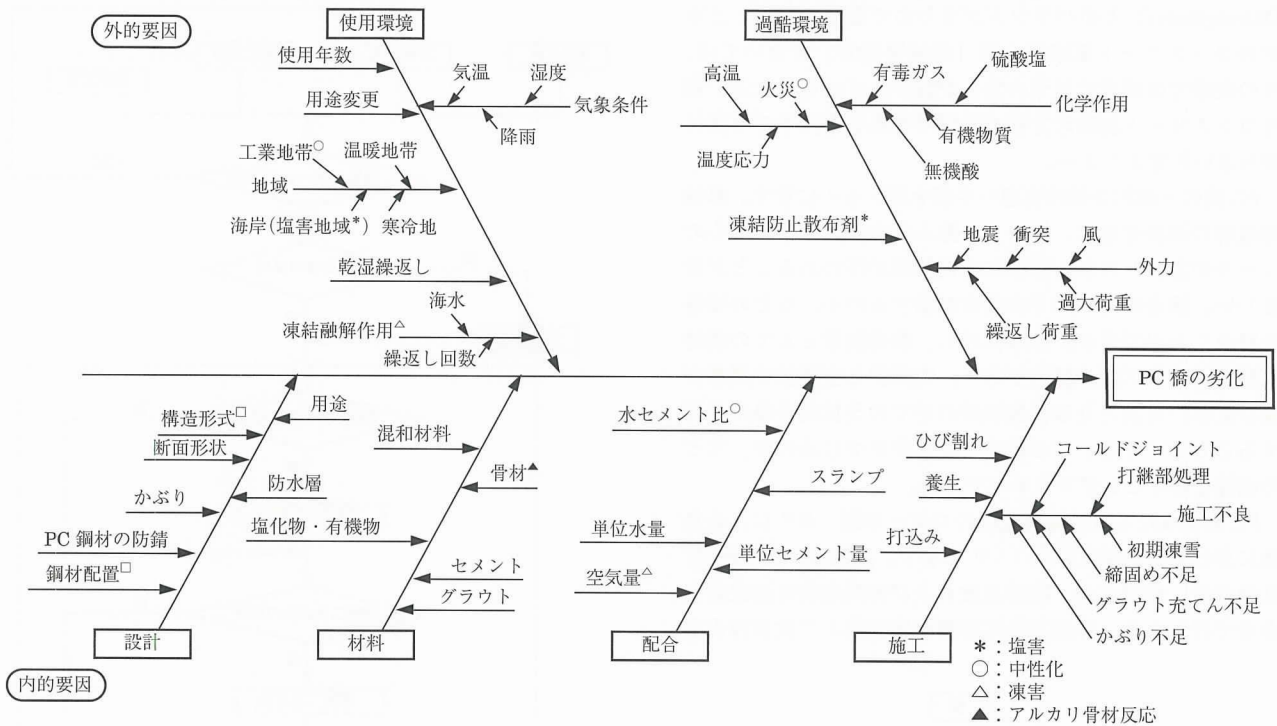


図-2 PC橋の劣化要因<sup>3)</sup>

化機構・劣化要因との関係を図-3<sup>3)</sup>に示す。なお、図中の数値は事例の件数を表している。ここでも、PC橋特有の劣化現象としてグラウトに関するものがあり、劣化機構は塩害あるいは中性化であっても、グラウトの充てん不足あるいは未充てんなどが劣化要因となる場合がある。

維持管理においては、補修や補強の対策をとるべきかどうかの判定の必要上、構造物の性能の経時変化、つまり耐久性能を把握する必要がある。しかし、その精度は現在必ずしも高いとはいえないのが現実である。しかも、設計とは異なり、維持管理はその行為をすぐさま行う必要がある。つまり、今ある構造物に対して、何らかの劣化予測をし、評価および判定を下して診断を行い、今後の維持管理作業に反映させる必要がある。この場合現実の維持管理作業においては点検結果を有効利用することができる。なお、測定値、推定値には劣化構造物におけるよりも大きなばらつきが存在する可能性があるため、全体の性能低下を統計的に取り扱うアプローチも重要となる。これが可能となるの

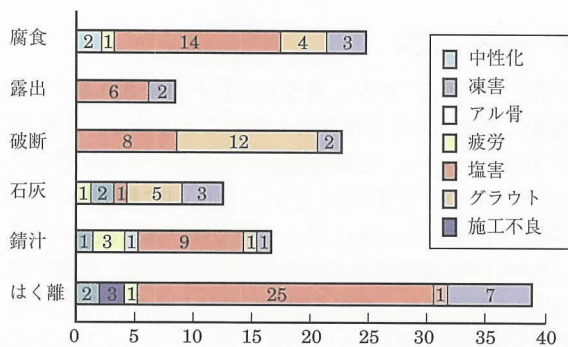


図-3 劣化現象と劣化機構・劣化要因との関係<sup>3)</sup>

は、劣化機構の基本を押さえた点検による維持管理へのフィードバックが適切に行われていることが前提となる。

### 3. 維持管理の現状

維持管理はコンクリート構造物の変状に対応した形で進められる。一般にコンクリート構造物の変状は、初期欠陥、損傷および劣化に分類することができる。なかでも重要なものは時間とともに性能低下が生じる、劣化である。

劣化機構としては、もっとも基本的なものとして中性化、塩害、凍害、化学的侵食、アルカリ骨材反応、疲労、すり減りなどがあげられる。維持管理においてはこれらの内容に対応した、言い換えれば劣化機構に基づいた対応、補修・補強・アップグレード等が要求される。劣化に対応して対策もまた存在するのである。したがって構造物の劣化機構を念頭においたうえでのハードなマネジメントが維持管理には要求される。対症療法では失敗を招くことは言うまでもなく、劣化機構・原因が明確でなければならない。

維持管理は、維持管理水準をあらかじめ考慮する必要から、計画・設計・施工を通じて配慮されなければならない。さらに構造物の竣工後においては具体的な維持管理作業が必要となり、維持管理行為のもっとも長く重要な部分を成している。維持管理作業にあたっては、初期点検以降の点検データの収集・整理・解析・判断が必要とされる。“使いこなす”時代においては、構造物を今後どのように供用させていくかというシナリオ提案のうえから、維持管理がきわめて重要となる。

維持管理には本来ハードとソフトの両アプローチが必要であり、そのため維持管理と呼ばれる。維持 (Maintenance) はハードな技術中心であり、ソフト中心の管理

(Management) とのバランスがきわめて重要である。土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕においては、今の段階では維持に若干の重心が置かれている。なお、現在コンクリート標準示方書の改訂中であるが、その本質は変わらないと考えてよい。

PC 橋の一般的な維持管理の手順を図 - 4<sup>3)</sup> に示す。単独構造物の維持管理は、ハードに重みがあり、時間軸中心のツールが必要とされ、詳細な劣化予測が行われることが望ましい。構造物をいつどの程度補修するのか、などの指標を得ることができる。これに対し、構造物群としての維持管理は、ソフトにも重みがあり、時間軸と空間軸の両者が要求され、対象となる構造物群の中での予算配分等に反映することができる。どの構造物から手をつけるのか、などの指標を得ることができるのである。

PC 橋における一般的な点検のフローを図 - 5<sup>3)</sup> に、各点検における対象部位を表 - 1<sup>3)</sup> に示す。点検は、初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検および詳細点検を適宜組み合わせで行われる。詳細点検は詳細一次点検と二次点検から

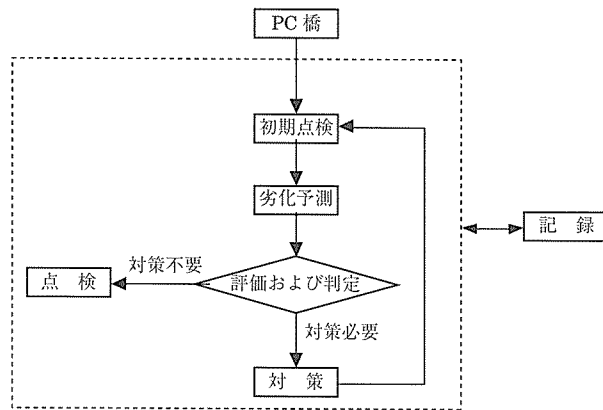
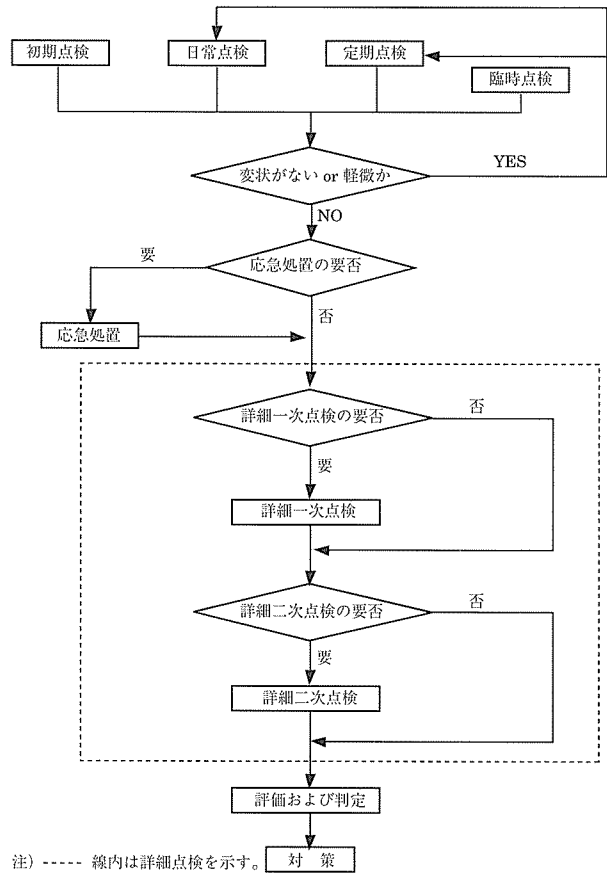


図 - 4 維持管理の手順<sup>3)</sup>

表 - 1 各点検における対象部位<sup>3)</sup>

部位	種別	初期点検	日常点検	定期点検	詳細一次点検	詳細二次点検	臨時点検	摘要
主構造	外面	○	△	○	(○)	(○)	(○)	基本性状
	コンクリート					(○)	(○)	
	鉄筋					(○)		
	PC鋼材			△		(○)		
	グラウト					(○)		
支承	○		○	(○)	(○)	(○)		
落橋防止システム	○		○	(○)	(○)	(○)		
地覆・壁高欄	○	○	○	(○)				
橋梁用防護欄	○	○	○					
伸縮装置	○	○	○			(○)		
橋面舗装	○	○	○					
橋面防水						(○)		
排水装置	○	○	○					
点検施設	○	○	○					
付属施設	○	○	○					
添架物	○	○	○					

注1：○は各点検種別において対象とすべき部位または箇所を示す。  
 注2：(○)は各点検の目的によって対象部位または箇所が特定される。  
 注3：△は可能なかぎり対象とした方が望ましい箇所を示す。



注) ----- 線内は詳細点検を示す。

図 - 5 PC 橋における点検フロー<sup>3)</sup>

なる。詳細一次点検は、構造部位に近接して変状を詳しく把握することを目的として、目視点検を中心として外面、支承、落橋防止システム、地覆・壁高欄に対して行われる。詳細二次点検は、評価および対策のために、コンクリート部材内部の変状を計測機器等を利用して詳細かつ定量的なデータを得ることを目的として行われる。超音波、赤外線、レーダ、電磁誘導、放射線、打音振動、自然電位や分極抵抗など、さまざまな非破壊検査手法を適宜用いるとよい。一般の無筋あるいは鉄筋構造物とは違った視点が要求される場合も多い。とくに、緊張材によってプレストレスが導入されている関係で、緊張システムおよび緊張力による応力の分布にはきめ細かな配慮が必要である。なお、評価および判定については、コンクリート構造診断技術<sup>4)</sup>やコンクリート診断技術'08<sup>5)</sup>等を参考にするとよい。

#### 4. 補修、補強

評価および判定の結果、対策が必要と判断されると、補修・補強に代表される対策がとられることとなる。補修・補強の工法については、各種の指針や報告類<sup>6-10)</sup>が整備されはじめているので利用するとよい。なお、PC 構造物の塩害に有効な電気化学的補修工法については、水素脆性の懸念からその適用が躊躇されていたこともあったが、現在ではその懸念も解決され、幅広く用いられはじめている。また、電気化学的補修工法を用いた場合のアルカリ骨材反応への悪影響については、その適用に関するガイドライン<sup>11)</sup>が

作成されたので参考とするとよい。

しかし、補修・補強はまだまだ開発途上にある工法および材料が多い。ここで、最先端の補修・補強技術がまとまった形で報告されているシンポジウム<sup>12)</sup>における、初期5年間の補修・補強についての報告の項目内容を図-6に示す。

補修のうちでその半分以上は表面処理（被覆および含浸）および断面修復からなる表面保護工法が用いられている。その中では表面処理と断面修復はほぼ同等であり、これらが組み合わせて用いられている様子が認められる。残りの大部分は電気化学的工法であり、電気防食、脱塩、再アル

カリ化などが見られる。表面被覆工法の中では、樹脂がもっとも多く用いられる材料であり約8割を占め、ポリマーセメント系は少なく、繊維が用いられている例はさらに少ない。表面含浸ではシラン・シリコン系が多くそれにケイ酸塩系が次いでいる。断面修復工法では、ポリマーセメント系が多くを占めている。ひび割れ注入工法では、亜硝酸リチウム、エポキシ、アクリルなどが見られる。なお、この図では明確ではないが、PC構造物特有の補修工法としてグラウト再注入があり、アルカリ骨材反応補修工法として注目されている亜硝酸リチウム圧入工法がある<sup>13)</sup>。

現実の構造物では補強を必要とするにまで至った例は、

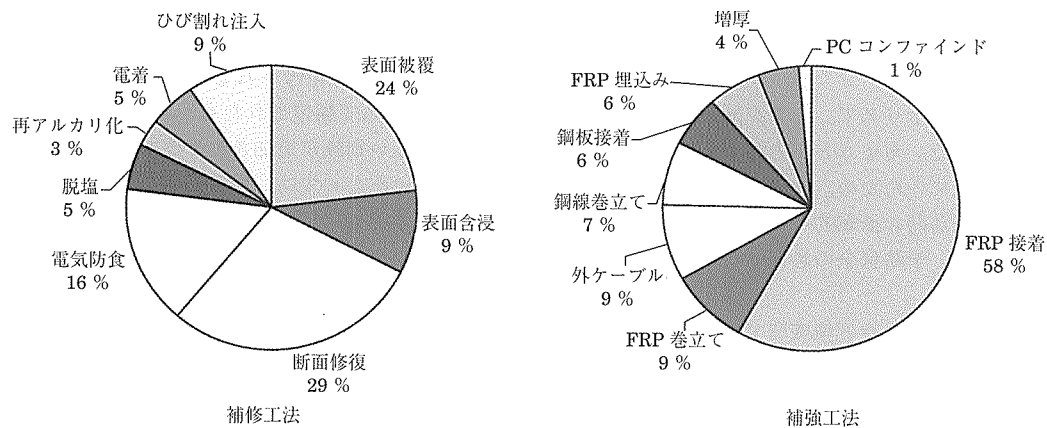


図-6 シンポジウムにおける補修・補強工法の内訳

表-2 補強工法の分類<sup>3)</sup>

補強目的	分類	対策の概要	工法名
コンクリート部材の補強	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	・ 既設支持点のほか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	・ 支時点増設工法
支承の補強	支承の取り替え	・ 主桁を仮受けし、既設支承を撤去した後に、新既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	・ 支承取替え工法
	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巻立て工法 ・ 壁式橋脚プレストレス導入工法

補修に比べるとはるかに少ない。補強では、ガラスあるいはビロンも見られはするものの、炭素繊維、アラミド繊維を中心とする FRP 接着、巻立て工法が 6 割以上を占め、次いで外ケーブル、鋼線巻立て、鋼板接着、FRP 埋込み、増厚、PC コンファインドなどの工法が用いられている。鋼板接着の比率が少ないのは、ある程度工法的に確立されたからであろうと推定される。補強工法をその目的によって分類して表 - 2<sup>3)</sup> に示す。PC にかかわる補強としては、PC 構造物そのものの補強と、プレストレスングによる補強がある。後者は通常の鉄筋コンクリート構造への適用も可能であり、したがって、PC という構造形式は、新設ばかりではなく、補強工法としてもきわめて有用なものなのである。

## 5. 維持管理の将来

米国ミネソタ州ミネアポリスで、ミシシッピ川に架かる高速道路の橋が崩落した。ちょうど夕方のラッシュアワー時で多数の車が走行していたため、死者を含めて被害者は数多くに上り、その崩落時の衝撃的な映像がテレビで何度も流された。それ以降、予防保全の必要性が多く場で議論されている。

予防保全については、各維持管理機関でさまざまな解釈がなされている。本来、予防保全では、劣化が生じる前に対策をとらなければならない。しかし、予防保全を幅広く捉えれば、劣化のグレーディングを区分し、あるグレーディングには至らないように対策をとる準予防保全的な対応も想定することができる。これは、本来は事後保全に区分される行為ではあるが、現在主として行われている事後保全の成果実績を効率的に利用し、構造物の致命的な劣化、たとえば崩壊を防ぐことにはきわめて有効であろう。

このような場合、構造物の挙動を監視するモニタリング手法が要求される場合が多い。人件費が低廉で、人手が多い場合にあつては、もっとも優れたセンサである人間が構造物を監視することも一方法であろう。しかし、少子高齢化社会を迎えたわが国の場合にあつてはそのような手法をとることは無理がある。機器を用いたセンサの活用が期待される。

劣化現象には、緩慢に進む段階と、急激に進む段階とがある。したがって、劣化メカニズムによっては、余裕をもってモニタリングができる場合と、応答がきわめて早いモニタリングが要求される場合とがある。腐食センサによるモニタリングなどは前者に用いられるものであろう。現在、光ファイバーを用いたモニタリング<sup>14)</sup> など、さまざまな手法が開発され始めている。手法的にはすでに成熟し始めているといつてよい。今は実行すべき時なのである。

## 6. シナリオ<sup>15, 16)</sup>

土木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、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・景観の経時変化等について、つまり、土木構造物の時空間内における挙動をあらかじめ具体的なシナリオとして設定してやり、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判定する、という手順を取るのもっともわかりやすい。このためには、そのようなシナリオを満足するかどうかを照査できるように、土木構造物の時空間内挙動の解明がさらに望まれている。

近年構造物に要求される本来のコストとして、ライフサイクルコストを用いるべきであるということがようやく認められるに至っている。しかし、ライフサイクルコストは単なる計算技術であり、ライフサイクルの基本となるシナリオを創造する能力こそが今技術者に要求される。これにより、コンクリート構造物を空間的にも時間的にも自由自在に設計できるといえるのであって、21 世紀の“持続可能な発展”を達成することができるのである。

現在土木学会コンクリート委員会では、コンクリート標準示方書〔維持管理編〕<sup>17)</sup> を改訂中であり、その全貌は 2008 年 3 月末に報告される筈である。〔維持管理編〕は 2001 年に初めて制定されたもっとも新しい示方書であり、種々の新しい知識が追加されて改訂される。具体的な維持管理作業にあつては、シナリオを基に、示方書に従った維持管理計画を立案し、これに伴うマニュアルを作成するとよい。

## 7. おわりに<sup>18)</sup>

現在、透明性をもった手続きによる、市民に対して説得力のある維持管理が必要とされている。そのためには、技術はもちろんのこと、人材、市場、行政などに関する配慮が要求される。技術者の責任のもとで維持管理を行うことにより、PC 構造物は真の社会的信頼を勝ち得ることができる。

適切な対策を策定するうえで、PC 構造物生涯のシナリオの構築、仮定および選定がきわめて重要である。構造物をどのように機能させたいかあるいはするべきか、という空間的かつ時間的なシナリオがあつて初めて LCC 等の具体的な算出が可能であり、意味をもつ。工学倫理等を含めて本来に適切なシナリオに基づいてコストあるいはリスク等を計算し、その最適化を元に維持管理を行った場合にはじめて適切なものとなる。

“丈夫で美しく長持ち”する PC 構造物によって、“丈夫で美しく長持ち”する社会・環境・地球を支える。これは PC 技術者のみができることであり、使命である。適切な維持管理がその強力な武器となるのである。

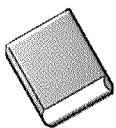
最後に、写真の提供をいただいた渡辺博志氏（独 土木研究所）、手塚正道氏（オリエンタル白石（株））、とりまとめにあつてお手伝いいただいた江良和徳氏（極東工業（株））に謝意を表してむすびとしたい。

### 参考文献

- 1) 宮川豊章：プレストレストコンクリート構造に求められる性能、プレストレストコンクリート、Vol.41, No.6, pp.19-24, 1999.11
- 2) T. Miyagawa, S. Nojima, S. Tokumitsu, H. Hosono & M. Tezuka: Present Situation of Maintenance, Assessment and Rehabilitation in Japan, Proc. Of 2<sup>nd</sup> Workshop on Durability of post-tensioning tendons, pp. 123-128, ETH, 2004.10
- 3) 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ユ

- アル・維持管理編, 2000.11
- 4) プレストレストコンクリート技術協会：コンクリート構造診断技術, 2007.7
  - 5) 日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'08, 2008.1
  - 6) 土木学会：電気化学的防食工法 設計施工指針(案), コンクリートライブラリー, No.107, 2001.11
  - 7) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案), コンクリートライブラリー, No.119, 2005.4
  - 8) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書 - 鉄筋破断と新たな対応 -, コンクリートライブラリー, No.124, 2005.8
  - 9) 土木学会：吹付けコンクリート指針(案) [補修・補強編], コンクリートライブラリー, No.123, 2005.7
  - 10) 土木学会：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, No.101, 2000.7
  - 11) 日本材料学会, 日本エルガード協会, コンクリート構造物の電気化学的補修工法研究会：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), ASRに配慮した電気化学的防食工法の適用に関する講習会, pp.1-41, 2007.11
  - 12) 日本材料学会：コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.1-7, 2001.10-2007.11
  - 13) 例えば, 関西道路研究会：道路橋調査研究会新材料・新構造に関する研究小委員会コンクリート構造分科会報告書, ASRを起こしたコンクリート構造物への対応, 2007.3
  - 14) 例えば, 新都市社会技術融合創造研究会：既設橋の最適延命化方策の評価・策定に関する研究プロジェクト報告書, 2008.1
  - 15) 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
  - 16) 宮川豊章：コンクリート構造物の戦略的マネジメントに向けて, コンクリート工学, Vol.42, No.5, pp.4-8, 2004
  - 17) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編], 2001.1 & 2008.3 (予定)
  - 18) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のアセットマネジメントに関するシンポジウム 委員会報告・論文報告集, JCI-C71, コンクリート構造物のアセットマネジメント研究委員会, 2006.12

【2008年1月15日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

## 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格：会員特価 4,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,725 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編  
技報堂出版