

# PC 構造物の維持管理技術の歴史

宮川 豊章\*1・藤田 学\*2

## 1. はじめに

わが国でプレストレストコンクリート（以下、PCと略記する。）技術が実用化されてから半世紀が過ぎ、いまやPC構造物は橋梁を中心に社会資本形成における主要な要素となっている。この間、高度成長期を通じて建設、蓄積されてきたPC構造物は、図-1<sup>1)</sup>に示すように高齢化世代といつてよい構造物が多くなってきている。さらに、図-2<sup>2)</sup>に示すように、2050年には約半数以上のPC橋が供用後50年以上経過することになる。20世紀は社会資本を形成する土木構造物の整備拡充の時代であり、コンクリート構造物を建設する時代であった。これに対して21世紀は、前世紀に蓄えた膨大なコンクリート構造物を維持管理することが最大の課題となる。『造る時代』から『使いこなす時代』への転換を迎えることとなった。

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り、本来“丈夫で美しく長持ち”しなければならないものである。現実に“丈夫で美し

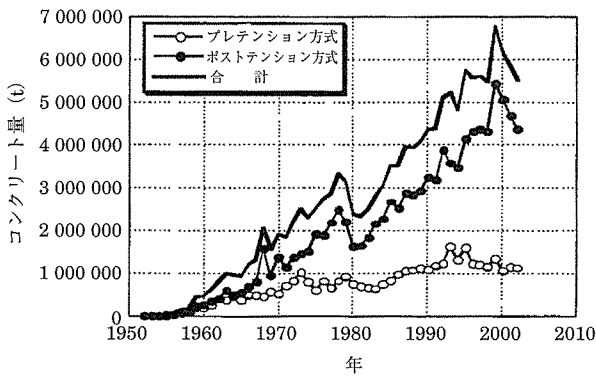


図-1 PC 構造物建設量の推移<sup>1)</sup>

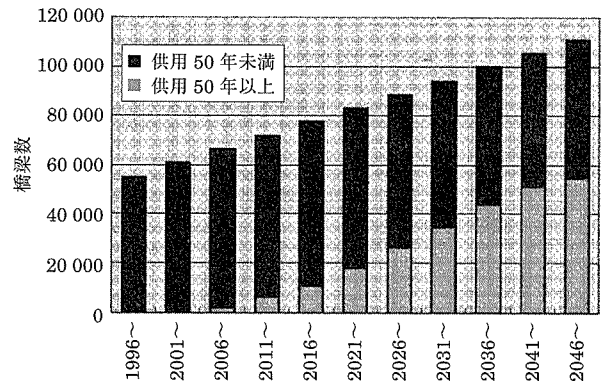


図-2 PC 橋の将来予想<sup>2)</sup>

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、PC構造物は通常の鉄筋コンクリート（以下、RCと略記する。）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<sup>3)</sup>。皮肉にもその優れた性能のためPC構造物の維持管理の歴史は短く、鋼構造物に対して営業的にはメンテナンスフリーと信じられていたような時代もあった。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ず、また、いくら耐久性に優れるとはいっても長年月を経れば劣化は進行し、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。

塩害、アルカリ骨材反応、PCグラウトなどが問題となった時代を乗り越え、21世紀は維持管理が重要な時代との共通認識に立ち、先人が築いた貴重な財産を供用していくことは、われわれに課せられた責務といえる。この観点から2001年に土木学会で「コンクリート標準示方書〔維持管理編〕」が発刊されたが、「PC橋の耐久性向上マニュアル維持管理編」は2000年にPC技術協会から発刊されている。

本稿では、PC構造物とくに橋梁を中心として、これまでの維持管理に関する分野の技術を概観して、現状と課題について述べる。

## 2. PC 構造物の劣化機構と要因

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。PC構造物の主な劣化機構はコンクリート構造物と同様に、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



\*1 Toyoaki MIYAGAWA

京都大学大学院 工学研究科 教授



\*2 Manabu FUJITA

三井住友建設(株) 技術研究所 土木研究開発部

り骨材反応、疲労、すり減りなどがあげられる<sup>4)</sup>。これらの劣化機構に環境条件・荷重条件等の外的な要因と、コンクリートの配合、材料特性などの設計に関するもの、施工方法等の内的な要因が影響を与えることによりPC構造物に劣化現象が引き起こされるのである。加えて、PC構造物特有の劣化現象としてPC鋼材とグラウトに関連するものおよび定着部の損傷があげられる。前者は主としてPC構造物におけるPCグラウトの充てん不良に起因するものであり、PC鋼材の腐食や破断などが顕在化してきたもので、初期の時代のPCグラウト材料と施工品質に起因する不具合である。PC橋の劣化現象と劣化機構・劣化要因との関係を図-3<sup>5)</sup>に示す。図中の数値は事例の件数を表している。なお、新設橋梁のグラウトに対する改善策としては、ノンブリーディングタイプのグラウトや真空グラウトの実施、また塩害環境下でのプラスチックシースの応用などがあげられる。

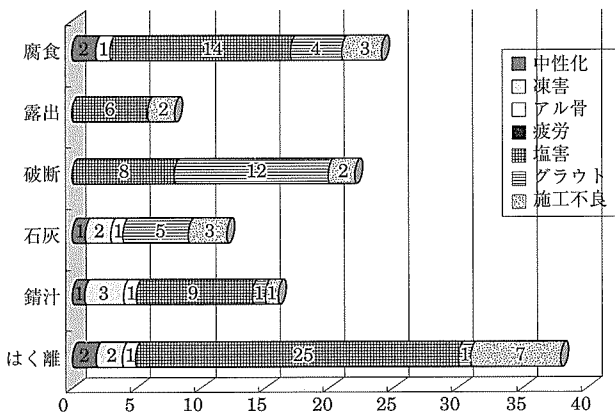


図-3 劣化現象と劣化機構・劣化要因との関係<sup>5)</sup>

### 3. 維持管理の現状

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。

一般的な維持管理の手順を図-4<sup>6)</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フローを図-5<sup>5)</sup>に、各点検における対象部位を表-1<sup>5)</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詳細二次点検からなる。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、目視点検を中心に外面、

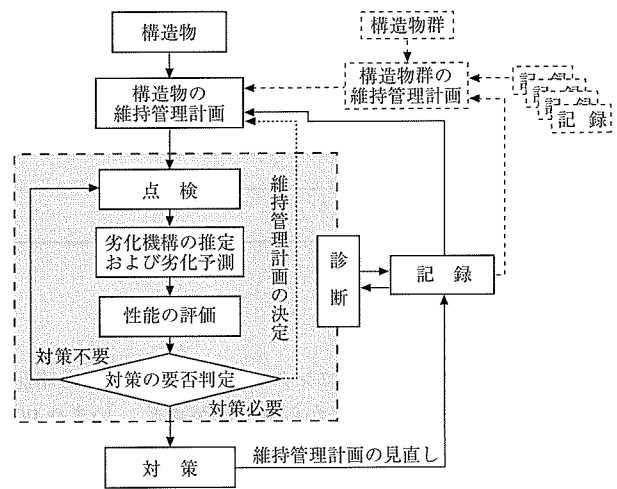
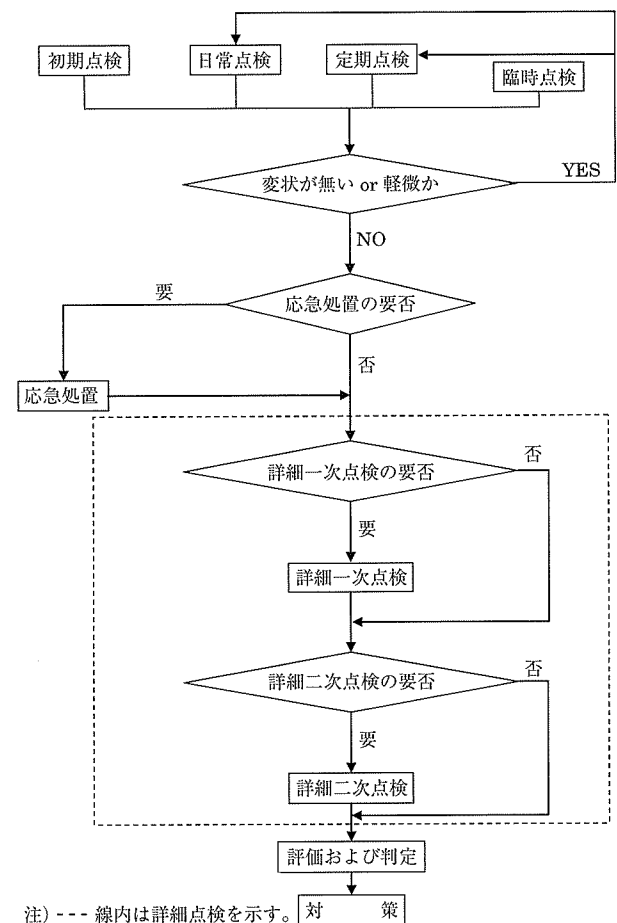


図-4 構造物の維持管理の手順<sup>6)</sup>



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>5)</sup>

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、表-2<sup>7)</sup>で示される非破壊検査法を適宜用いるとよい。一般の無筋あるいはRC構造物とは違った視点

表 - 1 各点検における対象部位<sup>5)</sup>

部位	種別	初期	日常	定期	詳細一	詳細二	臨時	摘要
		点検	点検	点検	次点検	次点検	点検	
主構造	外面	○	△	○	(○)	(○)	(○)	基本性状
	コンクリート					(○)	(○)	
	鉄筋					(○)		
	PC鋼材			△		(○)		
	グラウト					(○)		
	定着具			△		(○)		
支承		○		○	(○)	(○)	(○)	
落橋防止システム		○		○	(○)	(○)	(○)	
地覆・壁高欄		○	○	○	(○)			
橋梁用防護柵		○	○	○				
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。

表 - 2 主たる非破壊検査法の種類<sup>7)</sup>

検査方法	非破壊試験法の分類
目視調査的試験方法	デジタルカメラ法、レーザ法、ボアホールカメラ法
放射線透過試験方法	X線法
サーモグラフィ法	赤外線法
レーダ法	レーダ法
超音波法	超音波法
衝撃弾性波法	衝撃弾性波法、衝撃反射法 (IT法)
AE法	AE法
電磁誘導法	電磁誘導法
圧縮強度推定のための試験方法	反発硬度法 (シュミットハンマー法)、超音波伝搬速度法、引かき硬度法、貫入抵抗試験法、引抜き試験法、内部拡張破壊試験、ねじり破壊試験法、引張破壊試験法、曲折り強度試験法、積算温度による強度推定法、複合非破壊試験法 (超音波とシュミットハンマー法が一般的)
ひび割れ浮きの検出法	浸透法 打診法 (打音法、打検法、音響法)
自然電位測定による鉄筋の試験方法	自然電位法、分極抵抗法、交流インピーダンス法、電位ステップ法
含水率試験方法	削孔中の湿度による方法、張付け湿度試験紙による方法、誘導率による含水率試験、電気抵抗法、埋込み式含水率計、中性子水分計、マイクロウェーブ法
中性化深さ試験	中性化試験装置による方法 簡易中性化深さ試験
簡易透気性試験	直接加压法、空気漏洩法、簡易透気性試験
簡易透水性試験	直接加压法、簡易透水性試験
コンクリートの割合の推定試験法	石灰石骨材を用いたコンクリートの単位セメント量分析方法、単位水量の推定方法、不溶残分量から単位セメント量を計算する方法、酸化溶性 SiO <sub>2</sub> と真空吸水率から割合を算出する方法、小孔・小径コア法
その他	衝撃振動試験法、共振周波数法、光ファイバー法、その他

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>8)</sup> やコンクリート診断技術<sup>9)</sup>等を参考にするとよい。

#### 4. 補修、補強技術

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>10)~14)</sup>が現在整備されつつある。

##### 4.1 コンクリート構造物一般への対策

一般のコンクリート構造物の劣化に対して補修補強などの対策を実施する場合には、対策へ要求性能を明確にする必要がある。各種劣化に共通する要求性能として、「劣化因子の遮断」、「劣化速度の抑制」、「劣化因子の除去」があげられる。ここで、劣化因子には塩化物イオン (塩害)、二酸化炭素 (中性化)、水 (塩害、中性化、凍害、ASR、床版疲労)、酸類・塩類 (化学的侵食)、酸素 (塩害、中性化) などが、劣化速度には鉄筋の腐食速度 (塩害、中性化)、コンクリートの膨張速度 (ASR)、コンクリートの侵食速度 (凍害、化学的侵食)、剛性低下速度 (床版疲労) などが考えられる。

「劣化因子の遮断」が要求される対策として、既存構造物では表面処理やひび割れ補修などが、新設される構造物では高耐久性埋設型棒やエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用などがある。これらの対策の長期的な性能は、室内で行われる促進試験などで評価される場合が多い。しかし、環境条件や施工条件などさまざまな要因によって、実構造物では同じ性能が得られるとはかぎらないため、対策を実施した構造物の外観変化や非破壊あるいは部分破壊試験などにより再評価することが重要である。これらが困難な場合には、同環境に供試体を暴露して評価することもできる。なお、適切な排水処理や定期的な清掃などの対策も「劣化因子の遮断」として有効である。

「劣化速度の抑制」が要求される対策としては、既設構造物では電気防食 (鉄筋腐食)、リチウムイオン圧入 (ASR)、断面増加・部材増設 (疲労による剛性低下) などが、新設される構造物ではステンレス鉄筋の使用 (鉄筋腐食) などがある。これらの対策を評価する方法は、追跡調査 (鉄筋の腐食状況やひび割れ発生状況) が基本と考えられる。ただし、電気防食では防食電流のモニタリングで、リチウムイオン圧入ではコアの促進膨張試験で評価することもできる。なお、凍害や化学的侵食の劣化速度を抑制する有効な対策は、「劣化因子の遮断」である。

「劣化因子の除去」が要求される対策としては、劣化因子を含むコンクリートのはつり除去がある。また、断面修復材料の性能を室内試験や構造物の追跡調査 (ひび割れやはく離の確認) などによって評価することも重要である。脱塩・再アルカリ化では、構造物から採取したコアに含まれる劣化因子の量を測定することで適切な状態まで劣化因子が除去されたことを評価する。いずれの対策においても、

表-3 疲労を除く各劣化要因に対する補修・補強工法

劣化要因	要求性能	潜伏期	進展期	加速期	劣化期
塩害	劣化因子の遮断	表面被覆	表面被覆・ひび割れ補修		
	劣化速度の抑制	電気防食			
	劣化因子の除去	----	脱塩・断面修復		
	耐荷力・変形性能の改善	----	----	----	補強・打換え
骨材反応 アルカリ	劣化因子の遮断	表面被覆	表面被覆・ひび割れ補修		
	劣化速度の抑制	拘束・含浸材塗布・リチウム圧入			
	劣化因子の除去	含浸材塗布			断面修復
	耐荷力・変形性能の改善	----	----	----	補強・打換え
中性化	劣化因子の遮断	表面被覆	表面被覆・ひび割れ補修		
	劣化速度の抑制	含浸材塗布			
	劣化因子の除去	再アルカリ化	再アルカリ化・断面補修		
	耐荷力・変形性能の改善	----	----	----	補強・打換え
凍害	劣化因子の遮断	表面被覆 表面含浸処理	表面被覆		
	劣化速度の抑制	----	ひび割れ補修		
	劣化因子の除去	----	断面修復		
	耐荷力・変形性能の改善	----	----	----	補強・打換え
化学的侵食	劣化因子の遮断	表面被覆			
	劣化速度の抑制	----	ひび割れ補修		
	劣化因子の除去	----	断面修復		
	耐荷力・変形性能の改善	----	----	----	補強・打換え

表-4 疲労に対する補修・補強工法

要求性能 (期待する効果)	工法例
第三者影響度, 美観・景観の改善	表面処理 (被覆)
水の影響を除くことによる疲労耐久性の向上	床版防水の設置
ひび割れ開口の抑制による疲労耐久性の向上	FRP 接着, プレストレスの導入
引張縁への部材設置による断面剛性の回復	床版下面への鋼板等の接着, RC 断面の増厚, 増設桁の設置
圧縮側断面のせん断剛性の向上による疲労耐久性の向上	床版上面増厚

環境条件や使用条件が変化しない場合には再度同じ劣化が進行すると予測されるので、劣化因子を遮断する対策を併せて実施することが重要である。各劣化要因で要求性能ごとの一般的な対策工は表-3, 4のとおりである。表中の各工法は一般的に適用性が高いということであり、要求性能と劣化の進行過程の他諸条件を考慮して、適切な工法を選定することが大切である。また、対象構造物が有している残存性能を調査するとともに、期待する予定供用期間を考慮した適切な補修、補強工法を選定することが重要である。

#### 4.2 PC 構造特有の対策

PC 構造物は PC 鋼材によるプレストレスにより構造物に所要の耐荷力を与えるものである。また、PC 鋼材とコンクリートの付着を確保することも、PC 構造物の耐荷力上きわめて重要である。したがって PC 鋼材の腐食防止は PC 構造物延命化の観点から重要な要求性能である。PC 鋼材の腐食防止の対策案としては、① グラウト再注入、② 定着部保護工、③ 橋面防水、④ 表面保護工法、⑤ ひび割れ補修、⑥ 電気防食、⑦ 脱塩工法などがあげられる。上記 ③～⑦ は RC 構造物の鉄筋腐食防止と共通の対策案であり、PC 鋼材腐食防止特有の対策案としては、グラウト再注入、定着部

保護工ということになる。グラウトの再注入の評価方法としては施工時および施工後に行うものがある。施工時には、排出口の確認および注入量の管理である。施工後は、削孔による充てん確認あるいは X 線による充てん確認などがあげられる。定着部保護工の評価方法としては、その主目的が定着部からの劣化因子侵入防止であることから、表面保護工法と同様、止水が確実にできているか確認することによる。

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、幅広く用いられ始めている。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>15)</sup>が作成されている。

調査の結果、PC 鋼材が腐食により破断もしくは破断の可能性が確認された場合、補強により耐荷力を確保する必要があることがある。PC 鋼材損傷時の補強工法としては、① プレストレス導入工法 (外ケーブル補強など)、② 補強材接着工法 (RC 構造物の補強工法と共通)、③ 断面増厚工法 (RC 構造物の補強工法と共通) などがあげられる。PC 構造物の補強方法としてもっとも多く用いられているのは、プレストレス導入工法であり、不足した (不足する可能性のある) プレストレスを外ケーブルなどで補う工法である。プレストレス導入工法の評価方法は、プレストレスが確実に導入されたことを確認することによる。一般には、補強 PC 鋼材緊張時に PC 鋼材の緊張力と伸びの関係を確認する緊張管理による。

PC 構造物特有の劣化機構として、PC 鋼材の腐食が主たるものであり、その主な要因としてグラウトの充てん不良、塩害などが考えられる。PC 構造物特有の変状に対する対策工は、期待する効果や劣化程度に応じて表-5に示される

表 - 5 PC 鋼材関連の劣化に対する補修・補強工法の選定

要求性能	潜伏期	進展期	加速期	劣化期
PC 鋼材関連の劣化	劣化因子の遮断	グラウト再注入		
		橋面防水		
		表面保護		
		----	ひび割れ補修	
		定着部保護		
劣化速度の抑制	電気防食			----
劣化因子の除去	----	脱塩		----
耐荷力・変形性能の改善	----	----	外ケーブル補強	
	----	----	接着工法	
	----	----	増厚工法	

工法の中から選定されるのが一般的である。また、PC 橋に見られる劣化機構が塩害、中性化、アルカリ骨材反応、凍害、化学的侵食、疲労の劣化要因である場合、表 - 3, 4 を参照することができる。

### 4.3 PC 構造物への新しい試み

PC 分野では、これまで補修補強を含めた耐久性向上に関する技術に関して、おのおの関係機関の間で共同研究などが進められてきた。たとえば、その成果の一部は表 - 6 に示すような研究報告書<sup>16)</sup>として発刊されている。

表 - 6 研究報告書<sup>16)</sup>

昭和 63 年 9 月	塩害により損傷を受けたコンクリート構造物の補修方法に関する共同研究報告書	土木研究所
平成 2 年 9 月	飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する共同研究報告書	土木研究所
平成 6 年 3 月	海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究平成 5 年度報告書	土木研究所他 3 団体共同
平成 6 年 7 月	駿河湾大井川暴露試験 10 年のあゆみ (海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究)	土木研究所他 3 団体共同
平成 12 年 12 月	ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (その 2)	土木研究所
平成 12 年 12 月	海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書	土木研究所
平成 13 年 3 月	コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究	土木研究所
平成 13 年 3 月	ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (その 1)	土木研究所
平成 13 年 3 月	ミニマムメンテナンス PC 橋の開発に関する共同研究報告書 (その 3)	土木研究所
平成 15 年 3 月	PC 橋の耐久性向上技術に関する共同研究報告書	日本道路公団

このような成果を積み上げ、PC 構造物の維持管理手法の一つとして、とくに塩害を受けた PC 構造物を対象に、独立行政法人土木研究所と社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会によって、『プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [断面修復工法] (案)』<sup>17)</sup> (以下、手引き (案) と略記する。) がとりまとめられた。この手引き (案) では、PC 構造物の場合、塩分を含むコンクリートをはつることに起因して、プレストレス力として導入された応力状態が変化する観点から、補修を行うにあたりとくに留意すべき事項についての知見がまとめられている。これらの新しい試みが、PC 構造物のさらなる長寿命化につな

がることを期待している。

ここでは、この手引き (案) の概要を紹介する。全体構成を図 - 6 に示す。断面修復工法による PC 構造物の補修では、確実に安定した補修効果を得るために考慮すべき点は少なくない。とりまとめにあたって着目された技術的課題を以下に示す。

プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [断面修復工法] (案)	
第 1 章	総則
1.1	一般
1.2	本手引きで用いる用語
第 2 章	補修設計及び施工計画
2.1	一般
2.2	補修範囲の設定
2.3	補強の必要性及び補強方法の検討
2.3.1	一般
2.3.2	外ケーブル工法によるプレストレスの再導入
2.4	補修材料・工法の選定
2.4.1	一般
2.4.2	断面修復材の物理的性質
2.4.3	断面修復材の鋼材保護性能
2.4.4	断面修復材の電氣的性質
2.4.5	断面修復材のひび割れ抵抗性
2.4.6	断面修復材のはく離抵抗性
2.4.7	断面修復材の施工性能
2.4.8	断面修復材の気象作用に対する耐久性
2.5	他の補修工法との併用
第 3 章	施工
3.1	一般
3.2	断面はつり
3.3	断面修復
3.4	外ケーブル工法
3.5	品質管理計画
第 4 章	補修後の品質確認
第 5 章	記録
試験要領案 1	補修材の急速塩分浸透性試験方法
試験要領案 2	補修コンクリートのひび割れ抵抗性試験方法
付属試料 1	断面修復材の物性試験結果の紹介
付属試料 2	断面修復部の耐久性評価の実施例
付属試料 3	マクロセル腐食による再劣化についての検討例
付属試料 4	断面除去の影響についての検討例
付属試料 5	腐食した PC 鋼材の機械的性質について
付属試料 6	PC 鋼材の腐食が PC 部材の曲げ耐荷性状に与える影響について
付属試料 7	断面修復後外ケーブルにより補強した桁の耐荷性能に関する検討例
付属試料 8	補修材の塩分透過阻止性に関する検討例
付属試料 9	高流動コンクリートを断面修復材として用いる場合の配合検討例
参考試料	各種補修・補強方法の特徴

図 - 6 全体構成<sup>17)</sup>

### ① 補修箇所の再劣化リスクの低減

塩害による損傷を受けた PC 部材については、これまでも断面修復による補修が実施されてきたが、その結果、十分な効果が得られている構造物もある一方で、補修箇所の再劣化が認められる事例も報告されている。再劣化の主要原因の一つとして、コンクリートのはつり範囲の設定に関する検討が不十分であり、多量の塩化物イオンを含むコンクリートが補修後も残されることにより、鋼材腐食を食い止めることができなかったことが考えられる。該当する部位をすべて除去することが望ましいが、はつり施工中の安

定性や施工後の耐荷性能への影響を考慮すると、完全に除去することができないことも考えられる。このことから、手引き（案）では、再劣化防止の観点から断面修復の範囲の設定に対する考え方が示されている。

#### ② はつりの影響の検討手法の確立

上述の①の項目に深く関わることであるが、PC部材ではコンクリートにプレストレスによる応力が常時作用していることから、RC部材と比較してコンクリートのはつり囲について制約を受ける場合が多い。すなわち、補修・補強の設計段階においてははつり時の安全性やはつりによって生じるプレストレス力の再配分などの影響を十分に考慮する必要がある。しかし、これに対する検討方法は確立されていない。手引き（案）では、PC鋼材とコンクリートとの付着モデルなどの課題はあるが、材料特性およびはつりの状態を考慮した非線形FEM解析は、大断面をはつる場合のPC桁の力学的挙動をより精度よく推定できるなど、現状で適当と考えられるはつりの影響の検討方法の例が示されている。

#### ③ 断面修復後の部材性能の明確化

新設構造物の設計においては、性能照査の考え方が強く意識されている。断面修復などの補修に関しても、今後は、補修後の構造物の性能について新設構造物と同様に、より明確に示すことが求められる。手引き（案）では、とくに、外ケーブル工法併用時の断面修復材の力学的性能の影響について示されている。

#### ④ 断面修復に用いる材料の明確化

断面修復材料として、現在多種多様な材料が用いられているが、断面修復に用いる材料に要求される性能やその検証方法が十分には明確となっていないため、その材料選定に苦慮することが少なくない。手引き（案）ではとくに、

- (i) 修復部と未修復部の間のマクロセルの形成を抑制すること
- (ii) 断面修復部のひび割れに対する抵抗性を確保すること
- (iii) 断面修復部と母材部の一体性を確保すること
- (iv) 施工性を確保すること

を目的として、補修材料の選定にあたっての考え方が示されている。

## 5. モニタリング技術

昨年8月に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橋が崩落したことは記憶に新しい。わが国においても橋梁の高齢化が進んでおり、橋梁の危険箇所の早期発見・早期対応により構造物の致命的な劣化を予防する技術の確立が期待される。とくに、構造物の挙動を監視するモニタリング手法については、少子高齢化を迎える日本においては重要な技術であり、その導入により、高精度・高頻度での観察が可能となる。

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。腐食センサーによ

るモニタリングなどは前者に用いられるものであろう。後者については現在、光ファイバーを用いたモニタリング<sup>18)</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く、今は実行するべき時なのである。

## 6. 維持管理戦略<sup>4)</sup>, 19)

公共投資の減少は、少子高齢化の結果でもある。予算・人手がともに足りなくなることに加えて、コンクリート構造物の劣化は進展する。維持管理の必要性が増大するにもかかわらず予算・人間ともに減少する可能性が高いのである。そのような可能性のなかでコンクリート構造物を適切に維持管理するためには種々の戦略が必要とされることになる。構造物の経済性を初期コストのみで評価するのは不合理であり、ライフサイクルコスト(LCC)は構造物の戦略的マネジメントの強力なツールとなる。

近年構造物に要求される本来のコストとして、LCC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、LCC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。

## 7. おわりに<sup>20)</sup>

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べきか、という空間的かつ時間的なシナリオがあって初めてLCC、LCCO<sub>2</sub>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的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、その最適化をもとに維持管理を行った場合に初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。

### 参考文献

- 1) T. Miyagawa, S. Nojima, S. Tokumitsu, H. Hosono & M. Tezuka: Present Situation of Maintenance, Assessment and Rehabilitation in Japan, Proc. Of 2nd Workshop on Durability of post-tensioning tendons, pp. 123 - 128, ETH, 2004.10
- 2) プレストレストコンクリート建設業協会：PC橋のライフサイクルコストと耐久性向上技術，2005
- 3) 宮川豊章：プレレストレストコンクリート構造に求められる性能，プレレストレストコンクリート，Vol.41, No.6, Nov, pp.19 - 24, 1999
- 4) 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.
- 5) 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・維持管理編，2000.11
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2008.3

- 7) (社) 日本非破壊検査協会 鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験特別研究委員会：鉄筋コンクリート構造物の非破壊検査法の現状と動向：セメントコンクリート，No.656，pp.50 - 60，Oct. 2001
- 8) 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，2008.5
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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
- 16) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 建設業協会 50 年史 1955 - 2005，資料編 10 発刊図書目録
- 17) 竹内，渡辺，藤田，手塚：PC 橋の改造技術に関する研究 — その 7：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き [断面修復工法]（案）の概要 —，プレストレストコンクリート，Vol.50，No.5，Sep，pp.35 - 41，2008
- 18) 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
- 19) 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
- 20) (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会，2006.12

【2008 年 11 月 13 日受付】



刊行物案内

## プレストレストコンクリート技士試験 講習会資料

### 平成20年度 PC 技士試験講習会

資料のほか，過去 3 年間の試験問題，正解および解説が掲載されています。  
現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

（平成 20 年 6 月）

定 価 6,000 円 / 送料 500 円

会員特価 5,000 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