

プレストレストコンクリートの維持管理

— 2013年制定コンクリート標準示方書 維持管理編 —

真鍋 英規*1・長田 光司*2

コンクリート標準示方書〔維持管理編〕の改訂が2013年に行われた。今回は、2007年版コンクリート標準示方書〔維持管理編〕から6年ぶりの改訂となるが、現在の維持管理の動向に即した大幅な改訂が行われた。今までプレストレストコンクリート構造物の維持管理に関する事項は、関係する各部・各編に別れて記載されていたが、2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕標準に10章「プレストレストコンクリート」として新設された。

キーワード：2013年制定コンクリート標準示方書，プレストレストコンクリート，維持管理

1. はじめに

土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕は2001年に制定され、2007年に改訂が行われた後、2013年は2回目の改訂にあたる。2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕は3つの編から構成されている。〔維持管理編：本編〕は維持管理を行ううえでの原則的な基本事項を示すとともに、示方書の構成を明らかにし、その使用方法を示している。〔維持管理編：標準〕は、初期欠陥、損傷、劣化を包括的に考慮し、合理的な維持管理を実施するうえでの標準的な考え方および方法、手順を示している。維持管理の実施段階において、構造物の性能低下に影響を及ぼす劣化機構が推定できる場合には、〔維持管理編：標準〕を踏まえて推定した劣化機構に適した維持管理を実施する必要がある。〔維持管理編：劣化現象・機構別〕では、これらの劣化機構ごとに構造物の維持管理における基本的かつ具体的な方法を示している。

過去の維持管理編では、プレストレストコンクリート構造物の維持管理に関する記載は各部・各編にあったもののプレストレストコンクリートの章としてとりまとめたものはなかった。プレストレストコンクリート構造物として特徴的な維持管理の標準を示す章として、2013年制定〔維持管理編：標準〕の中に、10章「プレストレストコンク

リート」が新設された。本解説は新設された章およびその関連する事項を紹介する。

PC構造は、一般的に、設計荷重作用時にひび割れを発生させない設計手法を用いており、仮に一時的な過大荷重によりひび割れが生じたとしても除荷すればひび割れが閉じるという特性を有している。水セメント比が小さい密実なコンクリートにプレストレスを導入しているため、RC構造と比較すると外部からの劣化因子の浸入に対し高い抵抗性を有している。また、内ケーブル方式の付着のあるPC鋼材を使用し、かつひび割れが発生しない条件下では、変動荷重による鋼材応力変動は少なく疲労破壊に対しても問題とはならない。しかし、PC構造は本来耐久性に優れているにもかかわらず、劣化が顕在化した事例やなかには早期劣化が生じた事例もある。劣化の原因はさまざまであるが、RC構造と同様な塩害やアルカリシリカ反応（ASR）等の劣化機構のほかに、PC構造に特有の劣化がある。代表的なものとして、①PC鋼材、定着部、偏向部に関する劣化、②ポストテンション方式のPCグラウト充填不足等に伴うPC鋼材の腐食、破断、③施工目地部を起点とした劣化、等があり、維持管理においてはこれらに対する留意が必要である。

2. プレストレストコンクリートの維持管理

2.1 一般

PC構造はRC構造とは異なる構造特性を有することから、劣化の特徴も異なりPC構造に特有な劣化が生じるため、プレストレストコンクリート構造物の維持管理は、PC構造に特有な劣化に着目して行うことを基本としている。ただし、PC構造に生じる劣化のうち、塩害、中性化、アルカリシリカ反応、凍害、化学的浸食等はコンクリート部材の劣化として共通するものであり、また、プレストレストコンクリート構造物は必ずしも部材のすべてがPC構造として設計されているものではないため、PC構造に特有な劣化以外の事項に関しては、〔維持管理編：劣化現象・機構別〕の各章に従って維持管理を行うものとしている。

2.2 PC構造に特有な劣化

PC構造に特有な劣化は、その構造特性と密接にかかわ



*1 Hideki MANABE

(株)CORE技術研究所
代表取締役



*2 Koji OSADA

中日本高速道路(株)
関連事業本部T.L

っており、維持管理にあたっては、PC 構造の特徴を理解しておく必要がある。以下に PC 構造の主たる特徴を示す。

(1) プレストレスの導入

PC 構造は、一般に使用性に関する照査においてひび割れの発生を許さないことを前提とし、プレストレスの導入により、コンクリートの縁応力度を制御するように設計される。プレストレストコンクリート構造物へのプレストレスの導入は、プレテンション方式の場合では、PC 鋼材とコンクリートの付着力によるが、ポストテンション方式の場合には、PC 鋼材を定着具に固定する方法となる。

(2) PC グラウトの必要性

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート構造物では、PC 鋼材とコンクリートとの一体性の確保と PC 鋼材の防食を主目的として、PC 鋼材の緊張後にシースと PC 鋼材の間に PC グラウトを施工する。

(3) 施工目地の存在

プレストレストコンクリート構造物は、逐次プレストレスを導入することにより張出し架設工法や押出し架設工法等の分割施工を行うことができ、また、プレキャストセグメント工法では、プレストレス導入によりプレキャストセグメントの接合が可能であるが、これらの工法を適用すると主要部材に施工目地が存在することになる。上記の特性は、RC 構造と比較した場合に PC 構造の優位性に繋がるものであるが、何らかの原因によりこれらの特徴にかかわる部材・部分に劣化が生じると、RC 構造とは異なる劣化として扱わなければならないことに留意する必要がある。

2.3 維持管理方針

プレストレストコンクリート構造物の歴史は 60 年と浅いが、PC 技術は、その時代に要求される性能と技術水準により、時代の推移とともに変遷してきた。したがって、PC 技術の変遷を知ったうえで、対象構造物が構築された時代の特徴を把握の上、プレストレストコンクリート構造物の維持管理方針を決定することが重要である。PC 技術の変遷としては、PC 技術の歩み、プレストレスレベルの考え方の歴史、技術指針類の変遷、材料の変遷、JIS 規格・標準設計の変遷、施工技術の変遷、解析技術の変遷等であるが、それらの知識を十分有していることが重要であることを示した。

PC 構造では PC 鋼材を腐食させないように維持管理を行うことが重要であり、PC 鋼材の腐食を予防することがもっとも優先される。したがって、プレストレストコンクリート構造物の維持管理区分は、維持管理区分 A (予防維持管理) とすることが本来望ましいものとなることが記述されている。PC 構造では、プレストレス導入方向と直交する方向にひび割れが生じている場合は、耐荷性能の低下が懸念されるため、維持管理区分 A が設定されたプレストレストコンクリート構造物の場合、ひび割れ発生前を維持管理限界とするのが望ましい。しかし、現時点は適切な指標を設定することが難しく、水対策等の予防的な対策を講じ日常点検および定期点検でその状態を確認することが有効な手段となる。

また、維持管理区分 B (事後維持管理) が設定された場

合においても、現時点では有効な維持管理限界の指標が明確とはなっていない。PC 鋼材の腐食の状態を管理限界として設定することは可能であるが、その場合、PC 鋼材の腐食状態を詳細調査したうえで対策を講じることが前提となる旨が記載されている。

2.4 点 検

初期点検にあたっては、コンクリート構造物のひび割れに加え PC 構造として特有なひび割れに着目することが重要であり、乾燥収縮や温度応力によるひび割れと PC 構造として特有なひび割れと区別し記録を残し以降の点検に活用することとしている。日常点検では PC 構造に特有な劣化の予兆を変状として捉えることは困難であるが、たとえば PC 橋の場合では、橋面の滞水や排水管あるいは伸縮装置からの漏水等水に関する変状を主に確認することが記載されている。定期点検では構造物に接近した点検を行うことから、とくに PC 構造に特有な劣化につながる変状を中心に確認することが記載されている。詳細調査では、PC 構造に特有な変状に応じた詳細調査事例 (表 - 1) が具体的に記載されている。

2.5 劣化機構の推定および劣化予測

PC 構造は、RC 構造と比べ、外部からの劣化因子の侵入に高い抵抗性を有しているため、劣化が進行する過程は長くなるが、劣化因子が PC 鋼材位置まで到達し PC 鋼材の腐食を促進させるような場合は、耐力が低下する過程が極端に短い。このため、[維持管理編：劣化現象・機構別] に示す一般のコンクリート構造物としての劣化と、PC 構造に特有な劣化は区別することを原則とすることが記述されている。

PC 構造に特有な劣化が生じる場合は、様々な劣化過程をたどるため、一般的に劣化の状態と外観上のグレードを関連付けることは困難である。塩害等の PC 鋼材の腐食を対象とする場合は、[維持管理編：劣化現象・機構別] 6 章塩害に、劣化の状態に応じて外観上のグレードを定義することが記載されている (表 - 2)。

PC 構造に特有な劣化は耐荷性に直接影響することから、目視による点検結果のみでは適切な劣化予測を行うことはできない。そこで、詳細調査の結果および劣化状態 (外観変状の種類や程度) の推移等から適切なモデルを検討した上で、解析等により劣化予測を行うこと、また、劣化予測は劣化の直接要因に関するもののほかに、PC の構造特性が間接的に関与することにも注意を要することなどが記載されている。

2.6 評価および判定

評価および判定は、プレストレストコンクリート構造物の劣化の特徴を考慮することが重要であることを記載した。とくに、ポストテンション方式の PC 構造では、シース内空隙へ PC グラウトの充填が不足している場合があり、シース内に塩化物イオンが浸入すると、局部的に PC 鋼材の腐食が進行し破断にいたることが想定されるため、PC グラウト充填の良否も考慮に入れた評価を行うことが肝要となることが記載されている。

○ 特集 / 解説 ○

表 - 1 PC 構造特有の変状に応じた詳細調査の事例¹⁾

調査項目	調査手法の例		評価内容の例
PC 鋼材の状態	外観調査	水しみ、エフロレッセンス、ひび割れ等の発生状況から水の浸入経路とPC鋼材の配置との相関を確認する。	PC 鋼材の配置や PC 鋼材の腐食範囲を推定する。
	はつり調査 削孔調査	コンクリートはつりまたは削孔を行い、PC鋼材の状態を目視または工業用内視鏡を用いて確認する。	調査位置における PC 鋼材の腐食状況や破断本数を特定する。
	電磁波レーダ法	コンクリート表面から電磁波を放射して鋼材境界面からの反射波画像を確認する。	調査位置における PC 鋼材の位置やかぶりを推定する。
	放射線透過法	コンクリート表面から X 線等を使って放射線透過写真を撮影する。	
	振動法	外ケーブルを振動させ、固有振動数を計測する。	得られた固有振動数や測定電圧より、外ケーブル張力を推定する。
	磁歪法	外ケーブル外周に磁歪センサを取り付け、ケーブルの磁束密度を変化させて発生した誘導電流の電圧を測定する。	
PC グラウトの状態	放射線透過法	コンクリート表面から X 線等を使って放射線透過写真を撮影する。	調査位置における PC グラウト充填状況を推定する。
	衝撃弾性波法 (インパクトエコー法)	PC 鋼材が配置されている部分のコンクリート表面に鋼球打撃により弾性波を入力し、その反射波を振動センサで受信し周波数スペクトル解析を行う。	
	超音波法 (広帯域)	コンクリート内に高強度で広帯域の周波数を有する超音波を入力し、起生波をすべて収録する。収録した起生波をフィルタリングし、特定したシースからの反射波特性を分析する。	
	衝撃弾性波法 (打音振動法)	PC 鋼材両端の定着部近傍のコンクリート表面にセンサを取り付け、入力センサ側をハンマー等で打撃し、弾性波伝搬速度や入力側と出力側のエネルギー減衰および周波数特性を測定する。	直線配置 PC 鋼材 (横締め等) における PC ケーブル 1 本ごとの PC グラウト充填状況を推定する。
	通気法 (空圧法)	内ケーブルに対して削孔した穴を利用し、通気または圧縮空気を送り込むことにより、PC グラウト充填不足部の体積やシース内の密実性を把握する。	PC グラウト充填不足部分を推定し、シース内の密実性を把握する。
プレストレスの状態	コア切込み法	2 方向のひずみゲージを貼り付け、コアを切り込むことによって解放されるひずみを測定する。	調査位置における乾燥収縮、クリープひずみの影響を消去し、応力を推定する。
	スリット法	コンクリートを部分的に切削し、応力解放した際のひずみを光学的ひずみ計測装置により測定する。	撮影した範囲内の任意の位置・方向のひずみを画像解析し、応力を推定する。
	フラットジャッキ法	PC 部材に切削した溝にフラットジャッキを挿入し、応力の開放によって生じた変形量を復元させるために要する圧力を測定する。	調査位置におけるプレストレスを直接的に評価する。
	鉄筋解放ひずみ法	プレストレスが導入されている方向の鉄筋を切断した時のひずみを測定する。	調査位置における鉄筋解放ひずみを応力に換算してプレストレスを評価する。

表 - 2 塩害を受けるプレストレストコンクリート構造物の外観上のグレードと劣化の状態¹⁾

構造物の外観上のグレード	劣化過程	劣化の状態
グレード I	潜伏期	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以下
グレード II	進展期	外観上の変状が見られない、腐食発生限界塩化物イオン濃度以上、腐食が開始
グレード III-1	加速期前期	PC 鋼材以外の腐食に起因したひび割れや浮きが発生、さび汁が見られる
グレード III-2	加速期後期	PC 鋼材に沿う部分的な腐食ひび割れや浮きが発生、さび汁が見られる
グレード IV	劣化期	腐食ひび割れの進展に伴うはく離・はく落が見られる、PC 鋼材の断面減少が見られる、曲げひび割れが発生、変位・たわみが大きい

2.7 対 策

プレストレストコンクリート構造物に劣化が生じた場合の標準的な補修・補強工法は RC 構造物に適用されるものとはほぼ同様であるが、加えて、防食対策としての PC グラウトの再注入および外ケーブル工法等、PC 構造の補修・補強を行う場合において留意すべき事項を各工法べつに具体的に記載されている。

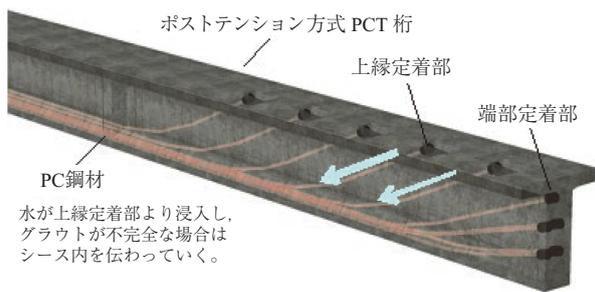
2.8 防水工, 排水工

PC 構造物における防水工、排水工等の水の浸入対策は、耐久性を維持するうえで他の補修対策よりも優先して行わ

れる必要があることが記載されている。

PC 鋼材の腐食は、PC グラウトの充填不足のみで進行することは少なく、水の関与によって進行することが多い。とくに、水はひび割れだけでなく、コンクリート打継目等の弱点部からコンクリート部材中を伝わって浸入することに注意する必要がある。図 - 1 に示すように、PC 鋼材が主桁上縁に定着された橋梁では、橋面の滞水が上縁の後埋めコンクリートの打継面から定着部やシース内に浸入し、PC 鋼材を腐食させた事例もある。

PC 構造特有の劣化を未然に防ぐには、劣化の予兆を捉

図 - 1 上縁定着部からの水の浸入経路¹⁾

え、劣化が生じる前に対策を講じる必要がある。このことから、PC構造における予防的な対策としては、水の浸入を防ぐ対策がもっとも有効であると考えられる²⁾。

3. 今後の課題として

3.1 PC鋼材の腐食と劣化グレード

管理限界の設定において、PC鋼材の腐食の状態を指標とする方法が考えられるが、今回の記述では、PC鋼材の劣化グレードの推定例としてPC鋼材の状態のみを示し、定量的な数値をもって維持管理限界を設定することはできないものとなっている。近年の研究では、腐食したPC鋼材では、引張強さの低下に比べ伸びの低下が著しいことに注意を要するが、質量減少率が5%程度までのものであれば設計上の疲労強度を有することが確認されている³⁾。さらなる研究成果を待ちPC鋼材の腐食状態と劣化グレードを定量的に示すことが課題となる。

3.2 アルカリシリカ反応

近年、PC構造物においてASRによる著しい劣化が確認されている。しかし、ASRによる劣化が耐力を含めPC構造にどのような影響を及ぼすのかは、完全には解明されていない。(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会により実施された大型PC部材におけるASR劣化を模擬した実験によると、ASR劣化が加速期程度まで進行した場合でも、プレストレスの変化は健全なPC部材と同程度であり、供用荷重および終局荷重レベルにおいて、PC鋼材の定着の性能が確保できるならば、部材としての剛性低下はあるものの平面保持性能、弾性挙動および終局耐力に影響を及ぼさないことが確認されている⁴⁾。今後さらなる研究成果を取り入れることにより、PC構造のASR劣化に対

する、劣化グレード（加速期～劣化期）と耐力に関する定量的な判断指標を示すことが課題となる。

3.3 技術者要件の記載

プレストレストコンクリート構造物の維持管理にあたっては、PC構造に特有の劣化の特徴を十分理解しておく必要がある。このことから、維持管理者が定めた維持管理計画に基づく診断および対策にあたる技術者の要件を記載することに対して議論がなされた。しかし、プレストレストコンクリートだけに詳細な技術者要件を記載するとプレストレストコンクリート以外の構造物には技術者要件が不要との誤解を招く可能性がある。このため、今回は本文および解説文での記載は見送られることとなった。なお、改訂資料にはPC構造専門の技術者として、PCを専門とする技術士（鋼構造及びコンクリート）や（公）プレストレストコンクリート工学会認定のコンクリート構造物診断士などがある旨を記載した。

4. おわりに

土木学会コンクリート標準示方書は、コンクリート構造物の計画、設計、施工、維持管理のあるべき姿を示すものとして、わが国のコンクリート技術の進歩に大いに貢献してきた。2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編：標準〕の中に、「10章 プレストレストコンクリート」として新しく記載され、プレストレストコンクリート構造物の維持管理の原則が示されたことは非常に意義深いものであり、今後、有効に活用されることが望まれる。

最後に、プレストレストコンクリートに関する章を新設するにあたりご協力いただきました(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、ならびに土木学会コンクリート標準示方書改訂小委員会、維持管理編部会の関係各位の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕
- 2) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC構造物の維持管理 - PC橋の予防保全に向けて -、2010.3
- 3) 竹内祐樹, 中村英佑, 村越 潤, 木村嘉富：塩害の影響を受けたPC桁から採取した腐食PC鋼材の力学特性に関する検討, 土木学会第64回年次学術講演会講演概要集V-049, pp185-186, 2009.9
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：ASR対策検討委員会報告書, 2009.3

【2013年9月27日受付】