

コンクリート鉄道橋の維持管理

岡本 大*1

最初の鉄道コンクリート構造物が建設されてから 100 年以上が経過し、構造物の経年とともに、確実に劣化も進行している。一方、鉄道橋の架替えは非常に困難であるため、鉄道事業を持続可能なものとするためには、鉄道橋を使い続けられるように維持管理することが重要となる。本稿では、まず、鉄道構造物の維持管理に関する技術基準として国土交通省鉄道局より通達されている「鉄道構造物等維持管理標準」について概説し、次に、鉄道で供用されている PC 桁の大部分を占める、ポストテンション方式の PC 鉄道橋の維持管理技術について紹介する。

キーワード：鉄道構造物等維持管理標準、グラウト充填状況調査、残存プレストレス量調査、主桁補強

1. はじめに

鉄道橋は、古くはレンガ積みものものや鋼橋が中心であったが、防災や騒音および維持管理等の観点から、コンクリート構造が採用されるようになり、近年に建設された橋梁の多くがコンクリート構造である。最初の本格的なプレストレストコンクリート（以下、PC）鉄道橋は、昭和 29 年に建設された日本国有鉄道（以下、国鉄）信楽線（現、信楽高原鉄道）第一大戸川橋梁（写真 - 1）であり、現在でも健全な状態を維持していることが確認されている¹⁾。昭和 30 年代以降の高度経済成長期においては、各地で鉄道建設が行われ、多数の PC 桁が製造された。また、新幹線では鉄桁の列車走行に伴う騒音が社会問題となり、昭和 40 年代に建設された山陽新幹線以降は、ほとんどの長大橋に PC 構造が採用されている。

このように、コンクリート鉄道橋は多数建設されており、建設後長期間が経過した構造物の増加に伴い、劣化対策を含めた維持管理が課題となっている。本稿では、まず、鉄道コンクリート構造物の維持管理に関する技術基準の変遷と、平成 19 年 1 月に国土交通省鉄道局より通達された「鉄道構造物等維持管理標準」²⁾（以下、維持管理標準）の概要を述べる。次に、鉄道のポストテンション PC 橋の維持管理について紹介する。

2. 鉄道構造物の維持管理に関する技術基準

2.1 技術基準の整備と変遷³⁾

鉄道コンクリート構造物は戦前より多数建設されてお

り、比較的早い時期からその維持管理が課題となっていた。国鉄では、戦後間もないころから維持管理に関する取組みが実施されてきたが、戦災により図面等の資料が焼失したため、これら基礎資料の再整備が進められた。昭和 31 年に「建造物保守心得（案）」と「建造物の検査及び措置要領」が作成され、実態調査の結果、構造物の図面などが再整備され、維持管理のための体制が作られた。その後、土木保守近代化計画が始まり、検査体制の強化、検査の高度化、効率化が図られた。

昭和 49 年には、「土木建造物取替の考え方」が作成され、検査や変状原因の究明、健全度の判定、措置といった建造物の補修の流れが体系立てて整理された。昭和 62 年には、「建造物保守管理の標準」⁴⁾として改訂され、新たな知見の導入、判定事例やチェックリストが追加された。平成 11 年に、山陽新幹線でトンネル覆工コンクリート剥落事故が発生し、高架橋からもコンクリート片が相次いで剥落する事象が確認され、コンクリート構造物の劣化が社会問題となった。そこで、国土交通省の委託により（公財）鉄道総合技術研究所を事務局とする研究委員会が設置され、技術基準の検討作業が進められた。そして、平成 19 年に国土交通省鉄道局より、「鉄道構造物等維持管理標準」が通達され、現在に至っている。

2.2 維持管理標準の概要

鉄道技術基準の性能規定化への対応、およびコンクリートの剥落など構造物の劣化が社会的な問題になったことを



*1 Masaru OKAMOTO

（公財）鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部
鋼・複合構造研究室長



写真 - 1 信楽高原鉄道第一大戸川橋梁

受け、維持管理に関する技術基準として「鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物」が刊行されるに至った。なお、維持管理標準（構造物編）は、コンクリート構造物編のほかに、鋼・合成構造物編、基礎・抗土圧構造物編、土構造物編、トンネル編が刊行されている。

2.3 維持管理の基本

鉄道構造物の維持管理は、鉄道構造物としての目的を達成するために、要求される性能が確保されるように行うことが原則とされ、表 - 1 に示す要求性能を念頭に置くことになる。要求性能の照査は、表 - 1 に示した性能項目ごとに例示した照査指標を用いることが原則となるが、建設時に適切な設計や施工が行われたことが確認され、その状態を保っていると認められれば、要求性能を満足することが明らかである。そこで、あらかじめ策定された維持管理計画のもと、図 - 1 に示すように、構造物の検査を行い、健全度を考慮して必要な措置を講じ、検査や措置の結果を記録するという手順により維持管理を行うことが基本とされている。なお、図中に示される 4～8 の章番号は、維持管理標準の章を表している。

2.4 検査、措置および記録

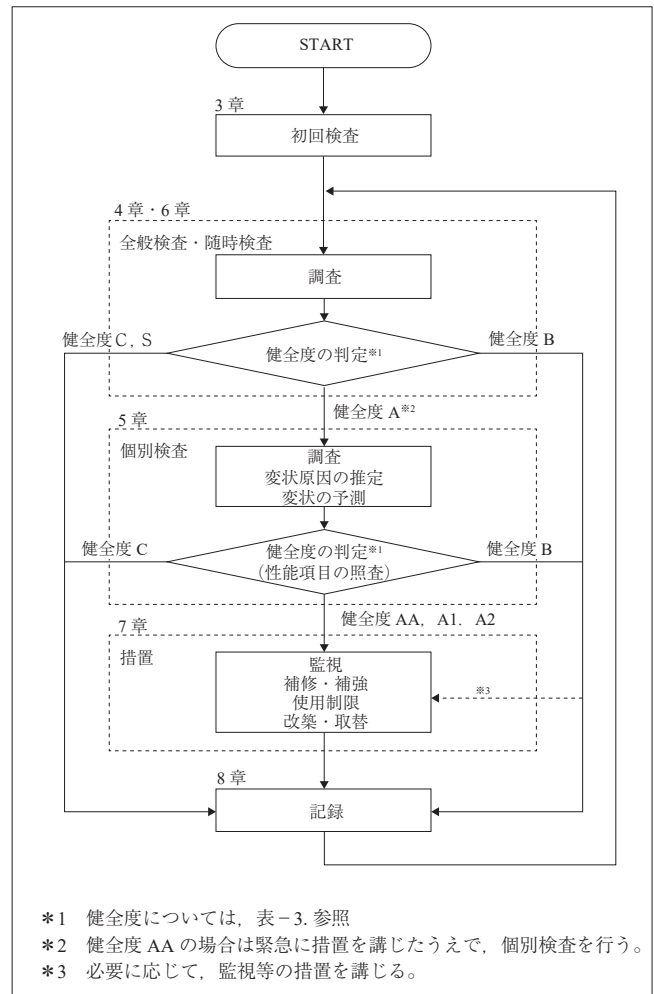
「検査」は、「構造物の現状を把握し、構造物の性能を確認する行為」と定義されている。なお、「調査」という用語も使用しているが、こちらは「構造物の状態やその周辺の状況を調べる行為」と定義され、検査の一部と位置づけられている。検査の区分は、表 - 2 に示すように、初回検査、全般検査、個別検査および随時検査であり、全般検査は、通常全般検査および特別全般検査にさらに区分されている。

検査は、構造物の維持管理に関して適切な能力を有する検査員により、検査区分に応じた調査が行われ、その結果に基づいて表 - 3 に示す健全度の判定が行われる。初回検査、全般検査、随時検査における健全度判定は、主に A, B, C, S のランクに区分する。ただし、運転保安、旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状を発見した場合には健全度 AA と判定し、緊急に措置を講じる。個別検査では、前述の検査で、健全度 A と判定された構造物に対し、さらに細分化した判定 (A1, A2) を行う。

健全度判定の結果、措置が必要と判断される場合には、構造物の健全度、重要度、列車運行への影響度などを考慮して、措置の方法と時期を決定する。措置の種類には、「監視」、「補修・補強」、「使用制限」、「改築・取替」があり、いずれか一つ、あるいは複数を組み合わせて選定する。全般検査、随時検査で健全度 AA と判定された構造物には、緊急に使用制限などの措置を実施する。また、全般検査、随時検査で健全度 A と判定された場合は、個別検査を実施して、その結果に基づき必要に応じて措置を実施する。健全度 B と判定された場合は、構造物の状況に応じて必要により監視などの措置を講じ、健全度 C, S の場合は措置を講じる必要はない。しかし、健全度 B, C, S と判定された構造物においても、将来変状の発生や進行が予測され

表 - 1 コンクリート構造物の要求性能

要求性能	性能項目	照査指標の例
安全性	破壊	力、変位・変形
	疲労破壊	応力度、力
	走行安全性	変位・変形
	公衆安全性	中性化深さ、塩化物イオン濃度
使用性	乗り心地	変位・変形
	外観	ひび割れ幅、応力度
	水密性	ひび割れ幅、応力度
	騒音・振動	騒音レベル、振動レベル
復旧性	損傷	変位・変形、力、応力度



- *1 健全度については、表-3参照
- *2 健全度 AA の場合は緊急に措置を講じたうえで、個別検査を行う。
- *3 必要に応じて、監視等の措置を講じる。

図 - 1 標準的な維持管理の手順

る場合には、これを防ぐための予防保全の措置を講じるとよい。

記録は、検査結果、措置のほか、構造物の維持管理に必要な項目が対象となる。記録の保存は、必要な情報が失われないように適切な方法で行う必要があり、変状の履歴など構造物を維持管理するうえで重要な項目については、構造物の供用期間にわたって保存しなければならない。維持管理に必要な項目としては、設計図書や建設時の施工記録、建設後の検査結果や補修・補強の記録などがあげられる。このうち、検査の記録に関しては、全般検査の結果が中心であり、著しい劣化が生じていない構造物においては、表

表 - 2 検査の区分と概要

検査の区分		時期	目的	調査方法	健全度判定
初回検査		供用開始前	新設構造物および改築・取替を行った構造物の初期の状態を把握	入念な目視, 必要に応じて目視以外	AA, A, B, C, S
全般検査	通常全般検査	2年毎	構造物の変状等の有無およびその進行性を把握	目視を基本	AA, A, B, C, S
	特別全般検査	2年毎, 延伸可	健全度判定の精度を高めるため, 必要に応じて通常全般検査に代えて実施	入念な目視, 必要に応じて各種の方法	AA, A, B, C, S
個別検査		必要に応じて実施	全般検査, 随時検査の結果, 詳細な検査が必要とされた構造物に対して, 精度の高い健全度の判定を行う	変状の実情に即したもの	AA, A1, A2, B, C, S
随時検査		必要に応じて実施	地震や大雨等により, 変状の発生もしくはその恐れのある構造物を抽出	目視を基本	AA, A, B, C, S

表 - 3 構造物の状態と標準的な健全度の判定

健全度	構造物の状態
A	AA 運転保安, 旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす, またはそのおそれのある変状等があるもの
	A1 運転保安, 旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状等があり, 緊急に措置を必要とするもの
	A2 進行している変状等があり, 構造物の性能が低下しつつあるもの, または, 大雨, 出水, 地震等により, 構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2 変状等があり, 将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの
B	将来, 健全度 A になるおそれのある変状等があるもの
C	軽微な変状等があるもの
S	健全なもの

- 3 に示す健全度の判定結果のみが記録されているケースが多い。今後は、経年の増加に伴い、変状を生じる構造物が多くなると考えられることから、個別検査の頻度も増え、詳細かつ定量的なデータを取得するケースも増えていくものと考えられる。たとえば、山陽新幹線では、全高架橋を対象に中性化深さ、鉄筋腐食度、かぶりや塩化物イオン濃度の調査を実施し、データを収集、記録する総合診断が実施されており、これをもとに維持管理が行われている⁵⁾。定量的なデータは、劣化の進行性の判断や予測に必要であり、適切かつ効率的な維持管理を実現するために重要である。劣化原因や劣化の進行度、調査方法を考慮して適切にデータを取得し、正確に記録する必要がある。

3. ポストテンション PC 鉄道橋の維持管理

3.1 鉄道における PC 桁の変状と対策の概要

当初、PC 構造は、ひび割れを許容していないため耐久性が高く維持管理を必要としないと考えられてきたが、建設後に長期間経過した構造物が増加するとともに、一部の PC 構造物で変状がみられるようになり、適切な診断や補修・補強に関する技術が必要となってきた。鉄道 PC 桁の変状事例としては、1970 年頃より、建設後 5 年余りで横締め PC 鋼棒が破断して突出するなど、グラウト充填不良に伴う PC 鋼材の腐食が見られるようになった。その後も、鉛直 PC 鋼棒のグラウト充填不良とこれに伴う PC 鋼棒の腐食破断、主ケーブル定着部でのグラウトの不完全な状況などが発見された。また、鋼棒破断によりかぶりコンクリートと鋼棒が地表に落下するという事象も生じた⁶⁾。これらの対策として、新設の PC 桁では、鉛直 PC 鋼棒や主ケ

ーブルの上縁定着を用いない設計とし、グラウトにはノンブリーディングタイプのグラウトを用いるなどの対策がとられ、既設の PC 桁についても、種々の対策が施されるようになった。また、そのほかの変状としては、アルカリ骨材反応によるひび割れを生じた事例⁷⁾や、塩害による損傷を受け、電気防食により対策された事例⁸⁾などが報告されている。

3.2 「ポストテンション PC 桁の維持管理マニュアル集」の整備

鉄道では 10 000 連以上の PC 桁が供用されているが、そのほとんどがポストテンション式 PC 桁である。ポストテンション PC 桁の維持管理に関しては、個々に開発された技術はあるものの、健全度調査から耐力評価、補修・補強までの技術が体系化されたものは未整備であった。このような状況を鑑み、ポストテンション PC 桁の維持管理に資することを目的に、(公財)鉄道総合技術研究所では、①「第 1 編 ポストテンション PC 桁の検査・措置マニュアル」、②「第 2 編 外ケーブル補強マニュアル」、③「第 3 編 鋼板接着・連続シート接着補強マニュアル」、④「第 4 編 PC 鋼材の突出防止マニュアル」、および⑤「第 5 編 PC グラウトの再注入補修マニュアル」で構成される「ポストテンション PC 桁の維持管理マニュアル集」⁹⁾を取りまとめている。マニュアル集には、グラウト充填状況および残存プレストレスの調査方法や、主桁の補強方法などについて紹介されている。

3.3 グラウト充填状況の調査

1984 年に国鉄の施工基準が改訂されるまで、ブリーディング率は 5% まで許容されており、この時期に建設され

たPC桁には、適切に施工されていてもグラウト充填不良が生じている可能性がある。グラウト充填不良は、外観では判別がつかないため、表面より削孔して調査する必要があるが、削孔調査は桁に損傷を与えるため、X線透過法、インパクトエコー法、超音波法、打音振動法などの非破壊調査法が提案されている。たとえば、X線透過法は、図-2に示すように対象物に一定時間X線を照射し、フィルムを感光させることで空洞の有無を判定する方法である。一般に、X線の透過距離が300～400mm程度以下で、放射線が透過する位置にシースが複数配置されていないPC桁では、可搬型のX線撮影装置により精度の高い調査が可能になる。

3.4 残存プレストレスの調査

PC桁の残存プレストレスの調査方法としては、光ファイバを用いる方法、応力解放法のほか、導電塗料を用いる方法などがある。導電塗料を用いた方法では、通電性のある導電塗料を、図-3に示すようにコンクリート表面にいくつかの電気回路を構成するように塗布する。そして、列車通過時などにひび割れが発生すると回路が遮断され、電気抵抗値が変化する。この抵抗値の変化を捉えることにより、ひび割れの発生およびその位置を検知し、設計値と比較することで残存するプレストレスを評価する。

3.5 主桁の補強

多数のPC鋼材が配置されている場合、数本のPC鋼材が破断しても構造物の安全性に大きな影響はないと考えられるが、破断本数が増加すると耐荷力が低下し、安全性に影響することが懸念される。これまでのところ、国内のPC鉄道橋で安全性への影響が懸念された事例はないが、将来に備えて主桁の補強に関する技術開発を進めておくことも必要と考えられる。現状、このような場合の主桁の補強方法としては、外ケーブル工法や鋼板接着工法などを用いることが考えられる。

外ケーブル工法は、消失したプレストレスを回復する効果的な補強工法であるが、部分的にプレストレスが減少したPC桁に対し、過大な圧縮力が生じないように留意する必要がある。一方、鋼板接着工法は、図-4に示すように、あと施工アンカーを用いて既設PC桁下面に補強用鋼板を接合し、曲げ耐力の回復・向上を目的とする工法である。外ケーブル工法のようにオーバープレストレスとなる懸念はないものの、低下した耐荷力を補うために多くの鋼材を必要とする場合もあることや、ひび割れが開口している場合には改善が困難である。主桁の補強については、変状の状況に応じ、適切な工法の選定が必要である。

4. おわりに

鉄道橋の架替は非常に困難であり、現在供用されているPC桁を今後も使い続けられるように維持管理していく必要がある。鉄道構造物の維持管理においては、早くから予防保全の重要性が認識されていたが、その取組みはまだ十分とはいえない状況にある。また、今後、経年構造物がさらに増加していくことを考えると、予防保全を活用した計画的な維持管理のほか、ICTを活用した効率的な維持管

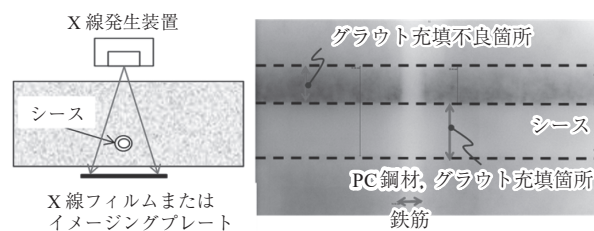


図-2 X線透過法による調査の例

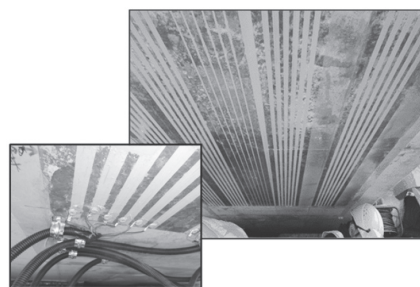


図-3 導電塗料によるひび割れ検知

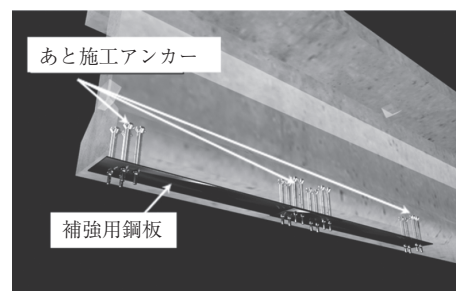


図-4 鋼板接着工法

理方法の構築なども重要になると考える。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会（335委員会）成果報告書およびシンポジウム講演概要集、コンクリート技術シリーズ80、2008.4
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物、2007.
- 3) 構史編集研究会編：鉄道構造物を支えた技術集団—国鉄構造物設計事務所足跡—、日本鉄道施設協会、2009.
- 4) 鉄道総合技術研究所：建築物保守管理標準・同解説（コンクリート構造）、1987.
- 5) 松田好史、垣尾 徹：山陽新幹線鉄筋コンクリートラーメン高架橋等の維持管理、コンクリート工学、Vol.38、No.12、pp.23-31、2000.
- 6) 石橋忠良：PC鉄道構造物の劣化事例と対策、プレストレストコンクリート、Vol.45、No.1、pp.72-75、2003.1
- 7) 新津正義、遠藤和重：大北川橋りょう桁変状（アルカリ骨材反応）対策、日本鉄道施設協会誌、Vol.39、No.10、pp.62-64、2001.10.
- 8) 諸橋剛：塩害橋りょうの電気防食工法による補修と維持管理、日本鉄道施設協会誌、Vol.42、No.4、pp.53-55、2004.4
- 9) 鉄道総合技術研究所：ポストテンションPC桁の維持管理マニュアル集、2013.10

【2021年1月7日受付】