

# 鉄道橋における維持管理

## — 鉄道構造物等維持管理標準の概要 —

谷村 幸裕\*

### 1. はじめに

従来、鉄道構造物の維持管理においては、2年ごとの検査が義務づけられてきたが、鉄道技術基準の性能規定化への対応が求められていることや、コンクリートのはく落など構造物の劣化が社会的な問題になっていることから、維持管理に関する体系化された技術基準が必要となった。

そこで、2000年に国土交通省の委託により、鉄道総合技術研究所を事務局とする「鉄道土木構造物の維持管理に関する研究委員会」（委員長：岡田勝也国土館大学教授）を設置して検討作業を開始した。具体的内容の審議については、構造物の種類ごとに行われることとなり、このうちコンクリート構造分科会（主査：魚本健人東京大学教授（当時））では、5年間にわたる審議が重ねられた。そして、2007年1月16日に「鉄道構造物等維持管理標準」が国土交通省鉄道局より通達されるとともに、「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」<sup>1)</sup>（以下、「維持管理標準」という）として刊行されるに至った。本解説では、維持管理標準の概要について紹介する。

### 2. 維持管理の基本

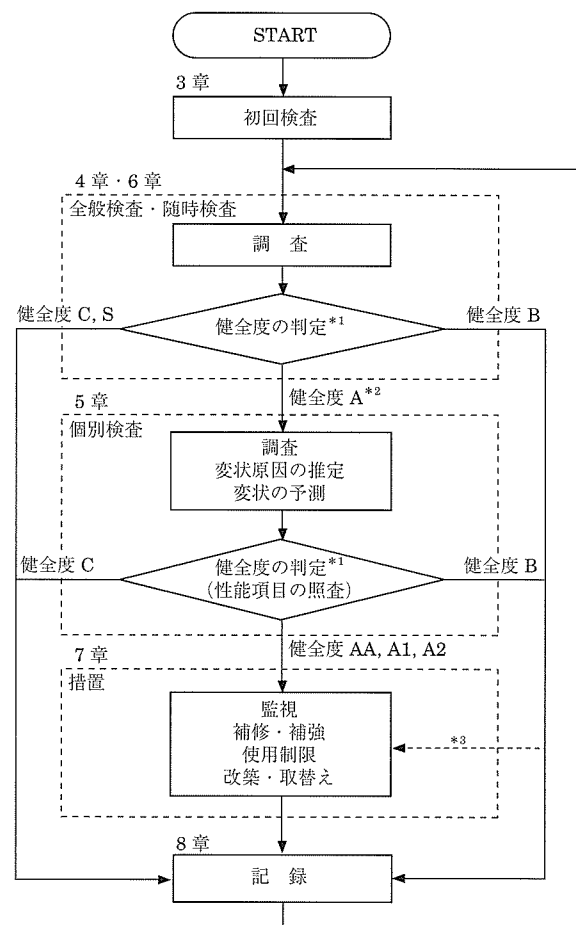
#### 2.1 維持管理の原則

維持管理標準は、鉄道技術基準の性能規定化の方針を踏まえて、性能照査型の体系を基本とすることとなった。しかし、幅広い技術レベルからなるすべての鉄道事業者に適用されることや、すべての構造物に共通の体系とすることを考慮し、国鉄時代に築かれた維持管理の体系<sup>2)</sup>を基礎として、実務に支障を来すことのないよう配慮した。

まず、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、たとえばコンクリート構造物においては表-1に示すような要求性能を念頭に置くことになる。要求性能を満足しているか否かは、表-1に示した性能項目ごとに例示した照査指標を用いて照査することにより明

表-1 コンクリート構造物の要求性能の例<sup>3)</sup>

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、「3. 検査」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  
 \*4 章番号は、文献 1) に対応する章を示す



\* Yukihiro TANIMURA

(財) 鉄道総合技術研究所  
 構造物技術研究部  
 コンクリート構造研究室長

図-1 構造物における維持管理の流れの例

らかとなるが、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、次の手順により維持管理を行うことを基本とした（図 - 1）。

- (1) 構造物の新設や改築、取替えを行った際に、初期の状態を把握する検査を実施する（初回検査）。
- (2) 構造物の供用開始後、検査を定期的に行い（全般検査）、異常時やその他必要と考えられる場合にも検査を実施する（随時検査）。
- (3) (2) の結果、詳細な検査が必要とされた場合等に検査を実施する（個別検査）。
- (4) (3) の結果、必要に応じて措置を実施する。

## 2.2 検査、措置および記録

検査の区分を図 - 2 に示す。「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、従来の用語<sup>2)</sup>を踏襲した。「調査」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た。

検査は、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、健全度の判定が行われる（表 - 2）。全般検査、随時検査における健全度判定は、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、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、適切な時期に補修等の措置が行われる。

検査、措置、その他構造物の維持管理に必要な情報については、記録して保存することが定められている。

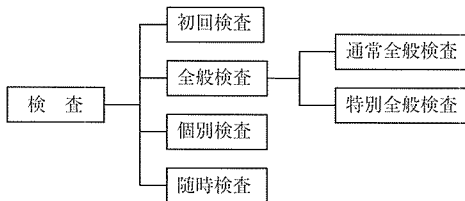


図 - 2 構造物の検査の区分

表 - 2 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	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
	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変状等があり、緊急に措置を必要とするもの
	A1 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. 検査

### 3.1 初回検査

初回検査では、入念な目視や打音法等により構造物に発生した過大な変位・変形、ひび割れ、はく離、はく落等の有無および程度を把握する。また、施工記録に関する調査や、かぶりの測定等を必要に応じて実施する。

### 3.2 通常全般検査

通常全般検査は、構造物の変状の有無およびその進行性等を把握し、性能を低下させている変状またはそのおそれのある変状を抽出することを目的として、約 2 年の周期で定期的に行う検査である。ただし、後述する特別全般検査により構造物が所要の条件を満たすことが確認されれば、全般検査の検査周期を延伸することが可能な場合もある。なお、従来の国土交通省告示では、2 年を超えない期間ごとに定期検査を実施することとなっていたが、検査基準日を定めてその属する月の前後 1 カ月を含む 3 カ月の間に定期検査を実施することに変更されている。これは、従来の規定では、つねに 2 年よりも短い周期で検査することとなり、同一の構造物を検査する季節が少しずつずれていく不都合が指摘され、これに対応して是正されたものである。

通常全般検査における調査項目は、たとえば PC 桁の場合、コンクリートのひび割れやはく落等の状態、鉄筋やシースの露出状態、変色や遊離石灰の有無、排水や漏水の状態、支承部の状態等である。調査は目視を基本とし、必要に応じて打音法等を用いる。近接困難な場合には、双眼鏡等を利用する。

通常全般検査における健全度は、変状の種類、程度および進行性等に関する調査の結果に基づき、AA、A、B、C、S に区分される。表 - 3 に判定の一例を示す。

### 3.3 特別全般検査

特別全般検査は、通常全般検査に比べ検査項目を追加して、健全度の判定の精度を高めることを目的として実施するものである。とくに重要と考えられる構造物等に対しては、構造物が健全な状態にある場合においても通常全般検査に代えて詳細な調査を行い、検査精度を高めることで予防保全も可能な体系としたものである。

そして、以下の①～⑤のすべての条件を満足する構造物は、2 年が基本となっている全般検査の周期を、6 年まで延伸してもよいこととした。

- ① コンクリートのはく落により、列車の運行、旅客、公衆の安全確保に影響を及ぼさない構造物
- ② 健全度が S である構造物
- ③ RC 構造物、PC 構造物、SRC 構造物
- ④ 初回検査実施後、10 年以上経過している構造物
- ⑤ 調査の結果、所要の条件を満足する構造物

調査は、入念な目視に加えて、ひび割れ、中性化、塩害、凍害、アルカリ骨材反応、化学的侵食等に関する詳細な調査のうち、構造物のおかれている環境等を考慮して必要と考えられる項目について実施する。検査周期延伸のための調査項目と判断基準の例として、中性化および塩害の場合を表 - 4 に示した。変状の予測については 3.4 に記述する。なお、健全度の判定は、通常全般検査に準じる。

表 - 3 健全度の判定例 (PC 桁のひび割れ, 抜粋)

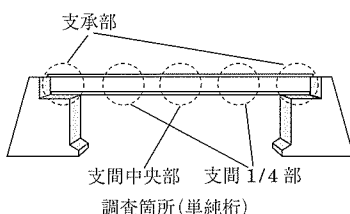
構造物	変状種別	調査箇所	調査項目	判定の例	判定
PC 桁	ひび割れ	単純桁 ・ 支承部 ・ 支間中央部 ・ 支間 1/4 部 	・ ひび割れの幅 ・ ひび割れの方向 ・ 進行程度 ・ 発生位置	中央部 (線路直角方向のひび割れ) ・ 常時開口し, 進行が急激なもの ・ 列車通過時開口しているもの ・ 幅が 0.1 mm 程度を超えるものが多数発生しているもの ・ 幅が 0.1 mm 程度以下のものが多数発生しているもの 桁端部 (ウェブに, 支点から上フランジに伸びるひび割れ) ・ 列車の通過時に開口するもの ・ ひび割れ幅 0.2 mm 程度を超えないもの	AA A A B AA B

表 - 4 周期延伸のための調査項目と判断基準例 (中性化, 塩害)

変状要因	調査項目	当該調査を実施すべき構造物	周期延伸の判断基準
中性化	・ 中性化深さ ・ 鋼材のかぶり ・ 鋼材腐食状況	すべての RC, PC, SRC 構造物	変状の予測により 10 年後にも潜伏期もしくは進展期である場合
塩害	・ 鋼材のかぶり ・ 鋼材腐食状況 ・ 塩化物イオン含有量	建設時の塩化物含有量が明らかでない構造物, および飛来塩分の影響を受ける環境条件にある構造物	変状の予測により 10 年後にも潜伏期もしくは進展期である場合

※「潜伏期」「進展期」の定義は表 - 6 による

表 - 5 変状原因の分類

大分類	変状の原因
1) 設計不適合や施工不良による変状	a) 設計不適合, b) 材料の品質不良 (強度不足等) c) 施工不良 (断面不足, かぶり不足, コールドジョイント, ジャンカ, 養生不足, 透水, PC グラウト充てん不良)
2) 外力や構造条件の変化等による変状	a) 外力変化 (車両重量の増加, 列車本数の増加, 速度向上, 付加死荷重の増大, 地震, 火災, 自動車の衝突) b) 支持条件の変化 (不同沈下, 支承不良) c) 排水の不良, d) 電食
3) 材料劣化による変状	a) 中性化, b) 塩害, c) ひび割れによる鋼材腐食 d) 凍害, e) 化学的侵食, f) アルカリ骨材反応

### 3.4 個別検査

#### (1) 概要

個別検査は, 構造物に生じた変状に対して詳細な調査を実施し, 変状原因の推定と変状の予測を行い, 性能項目の照査を行うとともに, これらの結果に基づき総合的に構造物の健全度を判定することを目的としている。

調査は, 目視が基本となるが, 目視では判定困難な場合は, 機器等を用いた詳細な調査を実施し, これに基づく変状の予測, 性能項目の照査等を行う。健全度の判定は, 変状の種類や程度および進行性等に関する調査の結果に基づき, AA, A1, A2, B, C, S に区分する。

#### (2) 調査

調査項目は, 変状原因の推定や変状の予測, 性能項目の照査ならびに措置の選定が可能となるよう, 構造物の特性, 変状の種類, 周辺の状況等を考慮して設定する。

目視による調査を行う場合, 全般検査と異なり, 経験を積んだ検査員が, 変状原因の推定や性能項目の照査の観点から実施する。機器等を用いた詳細な調査には, コンクリートコアの採取, はつり法等による配筋状態, 鋼材の腐食状況の把握等がある。採取したコンクリート試料からは, 中性化深さ, 塩化物イオン量の測定やアルカリ骨材反応の有無等を分析することができる。維持管理標準では, 各種調査方法の適用性を一覧表として整理し, 主な調査方法の手順を付属資料にまとめた。詳細な調査の実施により, 定量的な変状の予測, 性能項目の照査を行うことができる。

#### (3) 変状原因の推定および変状予測

維持管理標準では, 変状原因を, 表 - 5 に示すように分類している。調査の結果から, 変状原因を推定し, 変状の

予測を行う。このうち材料劣化に起因する変状は, 時間の経過による影響が顕著であるため, 表 - 6 に定義した変状過程に区分し, 変状原因ごとに変状の予測モデルを提示した。表 - 7 に中性化による変状の予測モデルの例を示す。

目視による調査結果から変状の予測を行う場合は, 変状過程の定義に基づき, どの区分に相当するのかを経験的に

表 - 6 変状過程の定義

変状過程	定義
潜伏期	変状が生じていない時期
進展期	軽微な変状が生じている時期
加速期	顕著な変状が生じている時期
劣化期	耐力の顕著な低下等が生じる時期

表 - 7 中性化による変状の予測モデル

変状過程	定義	各期の終了のしきい値	鉄筋の腐食速度 (mm/年)
潜伏期	中性化深さが鉄筋の腐食発生限界に到達するまでの期間	中性化残り $\leq 10 \text{ mm}$	0.0
進展期	鉄筋の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食深さ $\geq \Delta r_{cr}$	$3.0 \times 10^{-3}$
加速期前期	腐食ひび割れ発生からはく離・はく落発生までの期間	鋼材の腐食深さ $\geq \Delta r_{sp}$	
加速期後期	鉄筋の腐食速度が増大する期間	性能項目の照査により判定	$8.0 \times 10^{-3}$
劣化期	鉄筋の腐食量の増加により耐荷力の低下が顕著な期間	-	

$\Delta r_{cr}$  : ひび割れ発生時の鋼材の腐食深さ,  $13(c/\phi) \times 10^{-3}$  (mm)

$\Delta r_{sp}$  : はく離・はく落発生時の鋼材の腐食深さ,  $56(c/\phi) \times 10^{-3}$  (mm)

ここに,  $c$  はかぶり (mm),  $\phi$  は鉄筋径 (mm)

評価する。一方、定量的に変状の予測を行う場合には、各期の終了のしきい値および鋼材の腐食速度を用いて、変状の予測を行う。ただし、これらの予測モデルは平均的な状態を予測するものであるため、実務においては、予測結果を定期的な調査等によって適宜修正する必要がある。

(4) 性能項目の照査および健全度判定

目視により性能項目の照査を行う場合、「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」<sup>3)</sup>（以下、コンクリート標準という）を参考に、性能項目の趣旨や照査手法を十分理解したうえで、経験や知識に基づき判断する。

定量的な性能項目の照査を行う場合は、式（1）に示す維持管理指標  $J$  を用いる。 $J$  算出時の安全係数は、コンクリート標準に準じて適切な値を用いる。

$$J = K_m \cdot \gamma_i \cdot I_{Rm} / I_{Lm} \quad (1)$$

ここに、 $I_{Rm}$ ：維持管理用応答値（断面力等）、 $I_{Lm}$ ：維持管理用限界値（断面耐力等）、 $\gamma_i$ ：構造物係数、 $K_m$ ：設計式を既設構造物の維持管理に用いるための補正係数である。 $K_m$ の値は、設計で用いられる安全係数の値を考慮し、設計上の余裕がなくなるまでに措置されるように設定した。

耐力等の限界値の設定にあたっては、はく離・はく落によるコンクリートの断面積の減少を考慮する。また、鉄筋の断面積は式（2）により腐食の影響を考慮して求める。

$$A_{sr} = A_s (1 - a \cdot C) \quad (2)$$

ここに、 $A_{sr}$ ：腐食後の見かけの鉄筋断面積、 $A_s$ ：健全な鉄筋断面積、 $a$ ：質量減少率を補正するための係数、 $C$ ：質量減少率である。質量減少率は、鉄筋のある長さの平均的な断面減少の程度を示しているが、腐食鉄筋の断面積は一樣でないため、これを考慮するために調査や載荷実験等に基づき、質量減少率を補正するための係数  $a$  を考慮する。

健全度は、現時点および目標とする供用期間終了時の性能項目の照査結果に基づいて判定する。表 - 8 に破壊に関する安全性の照査と健全度判定例を示す。破壊に関する安全性の照査では、補正係数  $K_m$  として 0.7 を用いる。

なお、鉄道総合技術研究所では、検査を効率的に進めるツールとして、調査データを用い変状の予測から性能項目の照査および健全度判定を行う「橋守 性能照査型コンクリート構造物健全度判定プログラム」を開発しており、実務で用いられている。

表 - 8 破壊に関する安全性の照査と健全度判定例

照 査 結 果		健全度
現時点	目標とする供用期間終了時	
$J > 1.0$	—	AA
	$J > 1.0$	A1
$J \leq 1.0$	$0.8 < J \leq 1.0$	A2
	$0.7 < J \leq 0.8$	B
		C
	$J \leq 0.7$	S

3.5 随時検査

随時検査は、地震や大雨等により、変状の発生もしくはそのおそれのある構造物を抽出することを目的として、必

要に応じて実施するものである。地震等が発生した場合、直ちに停止や徐行などの規制がとられる場合があるが、随時検査においては、これらの使用制限の継続や、個別検査の必要性を判断するための調査と判定が行われる。

随時検査における健全度の判定は、通常全般検査に準じて行うのが基本であるが、調査が限定的となる場合が多いこと、列車運行に関わるため緊急を要することから、AA、A 以外となる場合は、健全度の判定を行わなくてもよい。

4. 措置および記録

検査の結果、措置が必要となった場合は、構造物の健全度、重要度、列車運行への影響度等を考慮して、措置の方法と時期を決定する。また、措置の種類には、監視、補修・補強、使用制限、改築・取替えがあり、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、緊急に使用制限等の措置をする。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等の措置を講じ、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、将来変状の発生や進行が予測される場合には、これを防ぐための予防保全の措置を講じるとよい。

コンクリート構造物の場合、変状の原因を推定して、措置の方法と時期を適切に決定する必要がある。これを怠って不適切な措置を実施すると、逆に変状を促進してしまう場合もあるので注意が必要である。

記録は、検査、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るが、変状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。

5. おわりに

老朽構造物の増加に伴い、構造物の維持管理の重要性は、さらに増していくものと考えられる。今後、維持管理標準を活用して、鉄道土木構造物の安全性が確保され続けることを期待する。また、維持管理標準をより良い内容とするために研究開発を進める予定である。最後に、「鉄道土木構造物の維持管理に関する研究委員会」の委員長、主査をはじめとする関係各位の長期間にわたるご尽力に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 鉄道総合技術研究所：建造物保守管理の標準・同解説（コンクリート構造），1987
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004

【2007年12月18日受付】