

# 鉄道橋梁下部構造物の維持管理と最新の診断手法

Maintenance of Railway Bridge Substructures and Recent Inspection Method

篠田 昌弘 (しのだ まさひろ)  
(公財) 鉄道総合技術研究所 主任研究員

中島 進 (なかじますすむ)  
(公財) 鉄道総合技術研究所 副主任研究員

阿部 慶太 (あべ けいた)  
(公財) 鉄道総合技術研究所 研究員

## 1. はじめに

現在供用中の鉄道土木構造物の大半は、明治から昭和初期および高度経済成長期に建設されたものである。これらの構造物は年々着実に経年化が進んでおり、今後も鉄道の安定・安全輸送を確保し続けるためには、適切に維持管理してゆくことが重要となる。本報告では、まず、鉄道の維持管理標準の変遷について述べ、最新の診断手法について紹介する。

## 2. 土木構造物の取替標準 (昭和49年)

### 2.1 取替標準による保守体系

鉄道土木構造物の維持管理の方法が初めて体系化された指針は、昭和49年に日本国有鉄道 (以下、国鉄と記す) により作成された「土木構造物の取替標準 (土木建造物取替の考え方) (以下、取替標準と記す) である。

取替標準では、従来検査が主体であった建造物検査標準から、検査により変状を捕捉し、原因を究明し、健全度を判定して措置を行うという一連の保守体系を明確にした。土木構造物の取替標準で示された保守体系を図-1に示す。

取替標準では、検査の区分を一次検査と二次検査として、以下の内容で分類した。

一次検査：建造物の変状または欠陥、もしくは既変状の進行の有無を捕捉するため、あらかじめ定めた時期、周期、項目により実施する検査

二次検査：建造物の変状原因追及および適切な措置方式を選択する判断資料を得るための検査

なお、上記検査に加えて、現場のみの判断では適切な検査方法を選定することが困難な場合には専門家の意見を聞くことを推奨している。判定結果に基づく措置の実施にあたっては、監視および検査強化、補修、補強、取替、使用制限の採用を検討することとしている。

### 2.2 健全度判定区分

取替標準では、①運転保安および旅客公衆の安全ならびに正常運行の確保に及ぼす影響、②変状の程度、③措置の必要性ならびに緊急性の3点を主体に、表-1に示す健全度判定区分を示した。健全度の判定にあたっては、構造物の変状部分だけを取り上げるのではなく、建

造物を支えている地盤や地山の状態、地形等を含めた総合的な判断が必要だとしている。取替標準では、鋼構造、コンクリート構造、基礎土構造、トンネル、斜面および法面で各論が構成されている。以下に、基礎土構造の中の橋梁の維持管理について述べることにする。

### 2.3 一次検査

一次検査の方法は、外的条件に対する検査と構造物の変状検査に分類されている。外的条件に対する検査項目は、圧密沈下、地震、河床低下および洗掘、近接工事が挙げられている。構造物 (基礎) の変状検査では桁位置の変位、橋台・橋脚の傾斜、橋台背面の沈下、ひび割れ、振動性状、動的沈下量が挙げられている。解説文には、

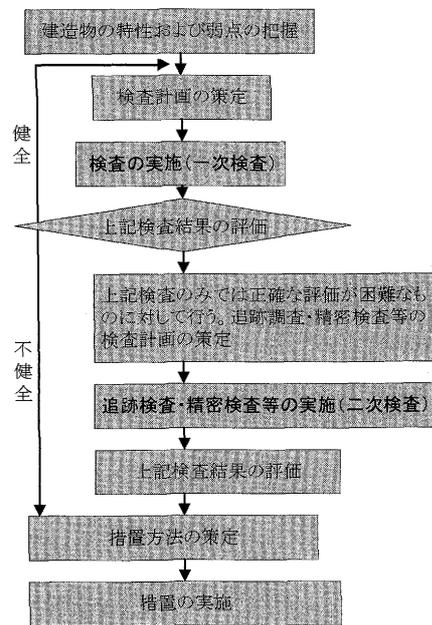


図-1 取替標準における保守体系<sup>1)</sup>

表-1 健全度判定区分とその適用<sup>1)</sup>

判定区分	運転保安等に対する影響	変状の程度	措置
AA	危険	重大	直ちに措置
A1	早晚脅かす 異常外力の 作用時危険	変状が進行し、 機能低下も進行	早急に措置
A2	将来脅かす	変状が進行し、 機能低下の恐れ	必要な時期に 措置
B	進行すればAランクになる	進行すればAラ ンクになる	監視 (必要に応 じて措置)
C	現状では影響なし	軽微	重点的に検査
S	影響なし	なし	なし

具体的な計測方法と計測位置が挙げられており、実務者への配慮が見られる。

一次検査による判定区分は、表—1に示したとおりである。判定の方法としては、外的条件と構造物の変位量および変位進行度に着目して判定することとしている。

## 2.4 二次検査

二次検査の方法は、一次検査と同様に、外的条件に関するものと、構造物の変位量、変位進行度に関するものに分類されている。外的条件と構造物の変位量、変位進行度では、一次検査と同様な項目が挙げられている。各項目では、具体的な計測方法と計測点が記載されており、計測器の必要精度などの記述もある。

昭和49年の取替標準では既に橋梁下部構造物の二次検査の1手法として、橋脚の振動数を計測し、その卓越周期で構造物の健全度を判定する手法が示されている。健全度判定は0.35秒以上(2.85 Hz以下)であれば、橋脚基礎が不健全との判定となる。この健全度診断法は、後述する衝撃振動試験法の基となる手法であり、昭和49年から振動数を用いた健全度診断手法が明示されていたことは興味深い。

## 2.5 措置

一次検査結果もしくは二次検査結果に基づき措置を行う。橋梁基礎構造物の措置の方法としては、①使用制限、②構造物対策、③地盤対策、④外的条件対策、⑤変状監視に分類できる。特に、構造物対策に関しては、補修、補強、取替が挙げられており、具体的な補強方法が明示されている。現在、変状監視は変状の進行性把握など、特に重要視されているが、取替標準では項目としては挙げられているものの、具体的な方法については明記されていない。

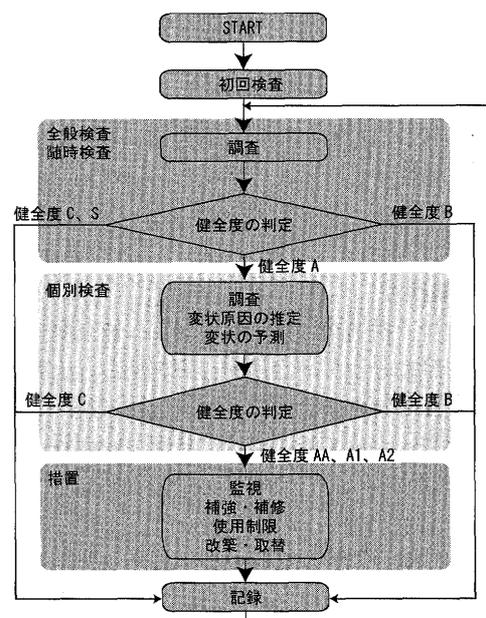
## 3. 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(平成19年)

### 3.1 はじめに

鉄道施設の検査のあり方を検討し、より適切な維持管理が可能となる検査周期やその方法などをとりまとめ、解釈基準としての鉄道土木構造物の維持管理標準を制定することを目的として、平成12年度に「鉄道土木構造物の維持管理に関する研究小委員会」が設置された。委員会では、5年間にわたって審議が重ねられ、平成19年に鉄道構造物等維持管理標準・同解説(以下、維持管理標準と記す)が刊行された。取り扱う構造物が多いため、取替標準の区分と同様に、コンクリート構造物、鋼・合成構造物、基礎構造物・抗土圧構造物、土構造物(盛土・切土)、トンネルの5分冊としている。新しく刊行された維持管理標準では、維持管理に関わる最新の研究成果を取り込むとともに、性能規定化の流れに沿って体系化されている。

### 3.2 維持管理標準による保守体系

維持管理標準では、これまで行われてきている維持管理の内容を変更せず、性能規定化の中での維持管理の位置付けをより明確にしたものである。図—2に維持管理



図—2 維持管理標準における維持管理の手順<sup>2)</sup>

標準における維持管理の手順(保守体系)を示す。全体的な枠組みは、取替標準と同様であるが、検査区分を明確化し、記録が新たに追加された。

維持管理標準における検査の区分は、初回検査、全般検査、個別検査および随時検査としている。具体的な内容は以下のとおりである。

**初回検査:** 構造物の初期状態の把握等を目的に、新設工事、改築、取替を行った構造物の供用開始前に行う検査

**全般検査:** 構造物全般の健全度を把握するとともに、個別検査の要否、措置の要否について判定することを目的とする定期的な検査

**個別検査:** 全般検査および随時検査において、健全度 A と判定された構造物および必要と判断される構造物に対して実施する検査

**随時検査:** 地震や大雨、融雪による異常出水時の災害による変状が発生した場合および変状を生じた構造物と類似の構造を有し、同様の変状が発生する可能性がある場合等、必要と判断された場合に行う検査

以上の検査結果に基づき、措置または記録を実施する。措置の項目は、取替標準と同様である。なお、維持管理標準では、構造物の維持管理を将来にわたり適切に行うため、検査、措置等の記録を作成し保存することが明記されている。

### 3.3 健全度判定区分

維持管理標準では、構造物の性能の確認を健全度の判定により行うものとしている。健全度は、取替標準と同様に、表—1に基づいて判定する。

### 3.4 初回検査

前述したように、初回検査は、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することを目的として実施する。初回検査の調査方法は、入念な目視を

## 報 告

基本とする。なお、必要に応じて各種計測を実施することで、その後の検査を実施する上で有効な基礎資料となる。維持管理標準では、初回検査の重点項目として、①桁の設定状況と設置時の気温、②河床レベルの縦・横断測量値、③基礎の根入れ長、④橋台・橋脚間の離れ、⑤橋台背面の道床厚、⑥周辺環境の状況写真の項目が明示されている。

## 3.5 全般検査

全般検査は、構造物の状態を把握し、健全度の判定を行うことを目的として、定期的実施する。全般検査は、通常全般検査と特別全般検査に区分されるが、ここでは通常全般検査について記述する。特別全般検査については、文献2)を参照されたい。通常全般検査は、基本的に2年周期で実施され、調査方法は目視である。初回検査や前回の全般検査等において既に変状の発生が認められたものについては、その進行性について調査することが重要となる。維持管理標準では、橋梁基礎構造物の通常全般検査における調査項目として、①ひび割れ、②変位、変形、③浮き・剥落、④洗掘、⑤その他で分類されており、各項目で具体的な調査項目が明示されている。

## 3.6 個別検査

個別検査は、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ことを目的として実施する。調査方法は、入念な目視が基本となるが、必要に応じて非破壊試験による調査を実施する。調査方法には、資料調査、地上部の変状に関する調査、地中部の変状に関する調査、変状の外的条件に関する調査に分類され、具体的な調査方法が明示されている。基礎の支持力特性に関する主な調査方法として、衝撃振動試験がある。以下に衝撃振動試験法について簡単に説明する。

衝撃振動試験法は、橋脚天端に重錘を設置し、橋脚躯体に計測器を設置する。重錘の設置は、橋梁上の橋側歩道などの反力がとれる構造体があればそれを利用する。橋脚1基における計測器の個数は、固有振動数の把握のみであれば、橋脚天端に1個設置すればよいが、計測後に固有値解析等を実施するためには、橋脚天端と底面付近に最低2個設置すればよい。なお、固有値解析による振動モードの同定を精度良く行うためには、橋脚天端、橋脚中間、橋脚底面付近に3個設置するのがよい。重錘と計測器の設置が終了した後、図-3に示すように重錘により橋脚天端付近を打撃することにより橋梁下部構造物の自由振動を励起する。

衝撃振動試験は、鉄道橋梁下部構造物やラーメン高架橋の定量的な健全度診断法に20年以上にわたり適用されている。衝撃振動試験の実施に当たっては、下記の問題点があることに留意する必要がある。

- ① 重錘（一般的な重さ30 kg）が重く、可搬性に欠ける。
- ② 打撃時の荷重を測定するのが困難なことから、入力荷重が不明である。
- ③ 打撃は人力で実施することから、技術者によって、

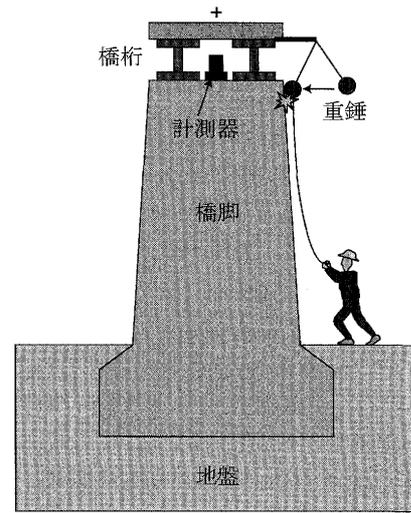


図-3 重錘による打撃

入力荷重にばらつきが生じる場合がある。

- ④ パルス入力のため、高振動数の入力が難しい。

衝撃振動試験法では、全国の多数の鉄道橋梁の詳細な調査結果と衝撃振動試験の結果とを多変量解析によって関係式化し、橋梁下部構造物ごとの固有振動数の標準値算定式が提示されている。ここで、固有振動数の標準値とは、橋梁下部構造物が健全なものであった場合に保有すべき固有振動数である。上記標準値と実測した固有振動数を用いて橋梁下部構造物の健全度が判定できる。衝撃振動試験の実施と健全度の判定にかかる所要時間としては、作業に慣れた技術者であれば、1基あたり2時間程度である。

## 3.7 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。調査方法は目視を基本とし、必要に応じて変位量や傾斜角、沈下量などを測定する。

## 3.8 措置

維持管理標準では、措置の方法として、監視、補修・補強、使用制限、改築・取替があり、取替標準と同様である。維持管理標準では取替標準では具体的記載のなかった監視について記載されており、変状を継続的に関し、その進行性の有無を把握することが重要であるとしている。さらに、変状を連続的に常時監視するための常時モニタリングの有用性についても言及している。

## 3.9 記録

老朽化した構造物の延命化を図るためには、その構造物の特性を十分に把握する必要がある。そのためには、過去から蓄積された資料を基に構造物の維持管理を行うことが重要となる。そのため、検査および措置を実施した後は確実にその内容について記録し、保存する必要がある。記録すべき項目として、検査区分、検査日時、担当者名、天候、内容、健全度等が挙げられる。

## 4. 最新の診断手法

### 4.1 はじめに

鉄道橋梁下部構造のうち、河川橋梁下部構造は、局所洗掘および河床低下により、橋梁の不安定化が問題視されている。前述したように、鉄道橋梁下部構造の個別検査法には、衝撃振動試験が実施されており、現状での健全度を把握できる。一方、局所洗掘および河床低下は継続的に進行している場合があり、将来的な健全度の予測も重要となる。ここでは、別所線千曲川橋梁に対して、現状における健全度診断と将来洗掘が生じた場合を想定した健全度予測の実施例<sup>3)</sup>について紹介する。

### 4.2 別所線千曲川橋梁の現状の健全度診断

別所線千曲川橋梁（以下、千曲川橋梁と記す）は1924年に建設された別所線の上田～城下間に位置する河川橋梁である。図-4に起点側から見た千曲川橋梁を示す。橋長は224.17 mであり、最大支間長は、44.88 mである。

千曲川橋梁の上部構造は、プラットトラスと無道床軌道で構成されている。下部構造は、ケーソン基礎で支持された橋脚4基からなる。河床面から支持地盤までの地質は、玉石混じり礫であり、平均N値は43である。千曲川橋梁の河床面も他の多くの河川橋梁と同様に建設時と比較すると河床面が大きく低下しており、特に、1Pから2Pにかけて河床面が著しく低下している。河床低下に伴い、健全度が低下しているおそれがあるため、2007年7月9日、すべての橋脚に対して衝撃振動試験を実施した。衝撃振動試験結果から、すべての橋脚に対して標準値以上の固有振動数が得られたことから、現状は健全であることが分かった。

### 4.3 別所線千曲川橋梁の健全度予測

千曲川橋梁では、1923年5月23日と2007年5月29日の河床面の記録があり、84年間で2 mほど河床面が低下している。そのため、局所洗掘深の推定を数年先として、長期的な河床変動量の影響を無視した。なお、長期的な河床変動量の影響を考慮するためには、数年おきに現況河床面における局所洗掘深の推定を実施する必要がある。千曲川橋梁の推定された局所洗掘深は、基礎底面から1.517 mであり局所洗掘が基礎底面まで到達しないことが分かった（図-5）。

次に局所洗掘後の推定河床面を基に、出水が生じた場合を想定して橋脚に風荷重と流水力を作用させてプッシュオーバー解析を実施した。解析した結果、橋脚天端で約31.7 mmの水平変位が発生することが確認できた。この値は、終局限界状態における水平変位量の制限値以内であることが確認できたため、局所洗掘が生じて河床が低下した後、さらに出水が生じても橋梁下部構造の安全性が確保できることが確認できた。本検討の詳細は、文献3)を参照されたい。

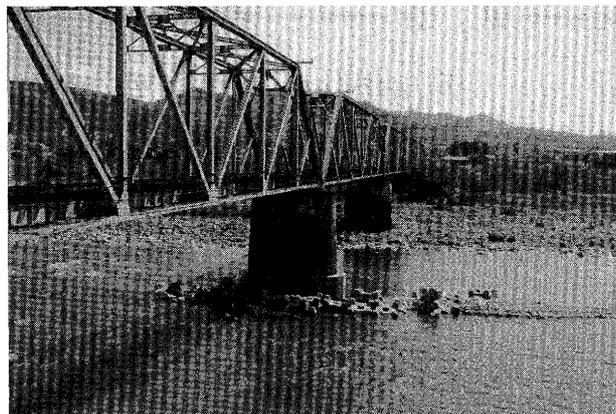


図-4 起点側から見た千曲川橋梁

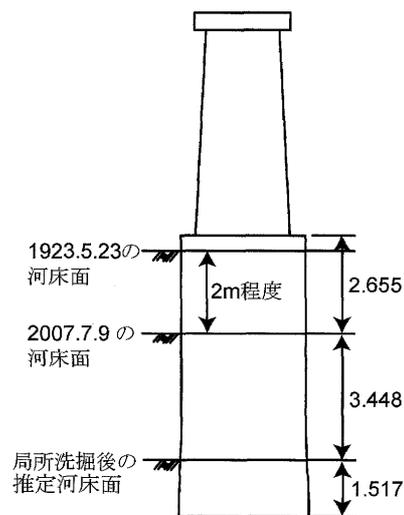


図-5 局所洗掘後の推定河床面

## 5. まとめ

鉄道橋梁下部構造における維持管理と最新の診断手法について述べた。老朽化した鉄道土木構造物の延命化を図るためには、構造物の維持管理は今後ますます重要視されることになる。維持管理手法の効率化や高度化のための取り組みは重要であるものの、維持管理に携わる検査員の技術力を向上させるための取り組みも重要である。維持管理に携わる検査員は、日頃の維持管理業務を自分の知識として蓄積する努力が必要である。

### 参考文献

- 1) 日本国有鉄道施設局・土木課編集：土木建造物取替の考え方，日本鉄道施設協会，1972。
- 2) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編），基礎構造物・抗土圧構造物，丸善，2007。
- 3) 羽矢 洋・篠田昌弘・村田成二：河床が低下した鉄道河川橋梁下部構造物の健全度診断，土木学会論文集 A，Vol. 65，No. 2，pp. 395～409，2009。

(原稿受理 2011.6.27)