

# 道路橋の定期点検における点検支援技術を用いた 診断の質の向上と省力化に向けた取組み

岡田太賀雄・恵良将主・白戸真大・石津健二

## 1. はじめに

道路構造物の定期点検が法定化され10年が経とうとしている。定期点検は道路構造物の維持管理を適切に実施するための基礎となる行為である。健全性の診断を行う者が近接目視、そして必要に応じて打音、触診などを行い構造物の状態を把握する（点検）ことから、次回定期点検までの構造物の措置の必要性についての所見を示す（健全性の診断）までの一連を行うことから成り立っている。これまでの点検実施の結果から、質の向上と作業負担の軽減という相反する課題への対応が求められており、本報告ではその方法論の構築に向けた取組みを紹介する<sup>1),2)</sup>。

## 2. 点検・診断の実施により分かった課題

上記の課題として以下が挙げられる。

- (1) 見えない部位・変状がある。例えば写真-1のようなケーブル等で被覆された部材、埋め込み部、補修補強で隠された部材が挙げられる。
- (2) 外観に変状が現れても評価・考察が難しい部位・変状がある。例えば写真-2に示すような床板ひび割れやPC桁の変色などが挙げられる。
- (3) その規模や構造、交差物件の関係から、特に作業負担が大きい橋がある。例えば写真-3のように径間が多く長い橋では通行規制時間が増加したり、トラス橋では点検車のブームの操作を行うときに斜材の間を通すなどの必要が生じ、作業時間が増大したりすることが挙げられる。
- (4) 構造物の全体をくまなく近接目視することを求めるときに、目的や部位によっては過剰となる場合がある。例えば、図-1に示すように溝橋では変状項目や着目すべき箇所を特定し、打音・触診の省略により作業量を低減している<sup>3)</sup>。

これらの課題に対して、道路橋については図-2に示すように、橋梁数の大半を占める小規模の橋のうち、構造的に落橋のリスクが小さかったり、

形状が単純で外観の変状の見逃しの可能性が小さい形式の橋では、既に点検項目を絞り込んだり、画像等で変状を把握する方法などについて技術情報の充実により、診断に必要な情報を充足させるための作業量の軽減が図られている。一方で、比較的橋長の長い大きい橋では、作業量の軽減余地が高いと考えられる<sup>4)</sup>。

そこで構造物の大小によらず、構造物ごとに診断の信頼性を保証できるように各部位の点検方法を変えるための方法論が望まれる。2012年に起きたトンネル天井板落下事故を受け国土交通省により設立された事故調査委員会が、問題点の一つとして「近接しての目視及び打音が未実施だったことについて、（省略）明確な裏付けがなく先送りされていたこと」を指摘している<sup>5)</sup>とあり、明確な裏付けを与えられる方法論が必要である。



写真-1 外観から把握しにくい変状や部材の例



写真-2 外観の変状だけでは診断しにくい部材の例



写真-3 作業負担が大きい橋の例



この他にも、既往の研究では、たとえば多主桁の橋では、一部の桁が機能不全になっても、床板や横桁を介して他の主桁が荷重を分担する事例などが報告されている。

また、異常の種類によっても、橋の維持管理に与える影響は異なる。例えば、コンクリート部材のひび割れについては、原因が塩害であった場合、例えば塩分の除去を行おうにも試行錯誤的になり、時間、費用もかさんでしまうことも考えられる。そこで、表-1の横軸には劣化が進んだときに修繕が大規模になる可能性がある部材という区分を加えている。同様に、部材からのコンクリート片や腐食片の落下が通行者等に危害を与えることの防止も定期点検の重要な観点であり、横軸に加えている。

橋の各部を適切にFault Treeに分解し、関連する異常や外観の変状の種類を関連付けることができれば、部位ごと変状・異常の種類ごとの維持管理リスクを区分できる。そのうえで、維持管理リスクが高くなるほど診断において考慮する複数の観点を充足するために、複数の方法を組み合わせることで部位の状態に関する情報を取得する必要がある。例えば、近接目視や画像などによる外観の情報だけでなく、他の方法を組み合わせることで部位内部の情報を取得するなど、診断の信頼性を確保するための情報を充足させる工夫が必要になる。一方、維持管理に重大な影響を与える可能性が小さい場合は、診断に必要な情報の充足性という観点では、外観に表れる明らかな変状、破壊が確認できればよいとすることも可能であると考えられる。

## 4. 斜張橋での試行

### 4.1 試行対象橋梁の概要

直轄国道では、供用後の初期損傷を早期に発見し必要に応じて早期に予防保全対策を検討することを目的として、供用後2年以内に定期点検の初回を行うこととしており、これを初回点検と呼んでいる。今後の法定点検における点検方法を検討するための試行を兼ねて、3.で提案した考え方で点検方法を選定し、初回点検を試行した。試行対象は、東北地方整備局が管理する、海上部を跨ぐ橋長680mの鋼3径間連続斜張橋である。図-3及び写真-5に橋の外観を示す。主塔は鋼製、主塔橋脚は鉄筋コンクリート製、桁断面は鋼箱桁、計



写真-4 ハンガーケーブルが破断しても落橋しなかった事例

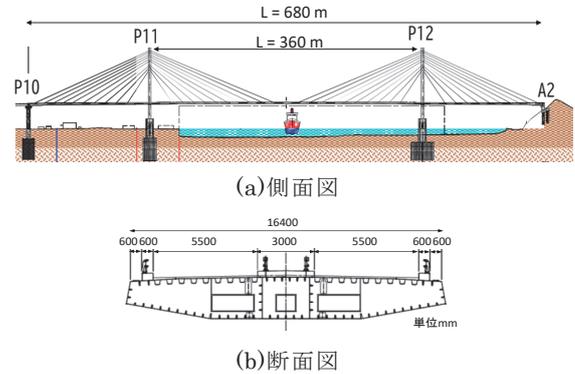


図-3 試行対象斜張橋側面図、断面図



写真-5 試行対象斜張橋全景

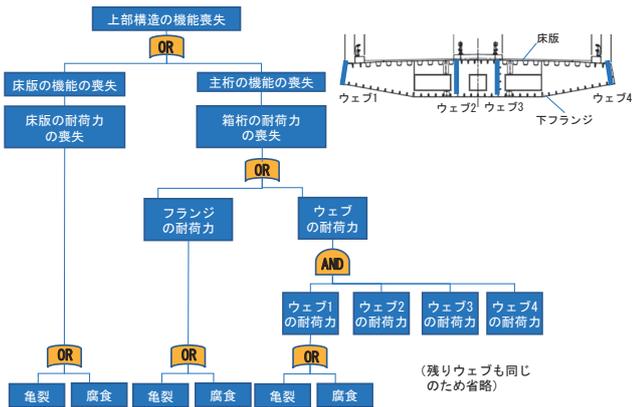
40本のケーブルの1面吊り構造である。2021年3月に供用が開始され、2022年11月に初回点検を行った。

### 4.2 点検内容と対象橋梁の維持管理リスクを考慮した支援技術の選定

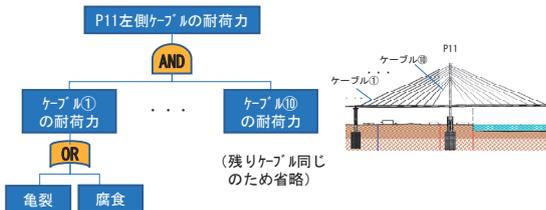
本橋の主な部位・部材と想定される各変状の種類に対して、図-4に示すようにFault Treeを整理して、本橋固有の維持管理リスクレベルを整理した結果を表-1に示す。また、リスクレベルを考慮して検討した点検方法を表-2に、実際の点検状況を写真-6に示す。以下にリスクレベルの整理や点検方法の選定の考え方を示す。

#### (1) 鋼桁、鋼製主塔

亀裂は一旦生じると急激に進行する可能性がある。桁外面は溶接線はあるものの平面からなる構造であるが、桁内面については補剛材なども多く、細部の状態の把握が必要である。また、ケーブルで吊られていることもあり、急激な落橋に至る可能性は減じられているかもしれないが、例えば鋼床版は、亀裂が進行すると通行者を事故に巻き込



(a) 上部構造の安全性喪失のFT



(b) ケーブルの安全性喪失のFT

AND : つながれた事象がいくつか複数同時に発生すると上位事象の発生につながる  
OR : つながれた事象のいずれか一つでも発生すると上位事象の発生につながる

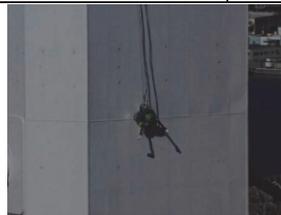
図-4 試行対象橋梁のFault Tree結果の例

表-2 各部材の点検方法

部材	点検方法	写真-6	
主桁	内面	近接目視	
	外面	UAVを用いた画像取得	(a)
鋼製主塔	内面	近接目視	
	外面	壁面移動ロボットを用いた画像取得 橋面に設置した遠望カメラによる画像取得	(b) (c)
主塔鉄筋コンクリート橋脚	UAVを用いた画像取得 コンクリート内の塩分濃度計測		
ケーブル	一般部	ケーブル登攀ロボットを用いた画像取得	(d)
	定着部	近接目視	



(a) UAV



(b) 壁面移動ロボット



(c) 望遠カメラ



(d) ケーブル登攀ロボット

写真-6 点検支援技術を活用した点検状況

む懸念がある。したがって、細部構造やき裂が橋の機能や安全性、修繕に与える影響を考えると維持管理リスクが比較的高いと言える。腐食及び防

食機能の劣化については、新しい橋でもあり水がかりが予測される桁端部や排水周りを除けば、全体として急激に進行する可能性は低い。すなわち、見逃しなどの情報の不足があったとしても維持管理上のリスクは低いと考えられる。

以上を踏まえ、溶接線が多い桁内面や桁端部の外面や排水周り及び特については近接目視により確実に状態把握を行うことにした。一方で、桁外面については、写真-6(a)に示すようにUAVを用いた画像情報を取得することにした。桁内面の情報と組み合わせて用いることで、桁としての診断に関わる維持管理リスクを管理することができるためである。また、桁外面の外観に近接するためには点検車を橋面に配置する場合は、長大橋ということもあり交通の規制時間が長くなってしまいが、UAVを用いれば短縮できる。

鋼製主塔についても、同様の考え方で点検方法を選んでいる。

## (2) 主塔鉄筋コンクリート橋脚

鉄筋の腐食を例に示す。安全性という観点では、鉄筋にて減肉がある程度進行するまでは安全余裕を有する可能性が高い。第三者被害防止の観点からは、直下に人が来ることが常に生じることを想定する必要性は低い。そこで、例えばUAV等の近接しない方法で、ある程度顕著なひび割れ等に着目して部材表面の状態を画像から把握することで、点検作業の省力化を行うこととした。海上部の大型の部材であり、近接する作業負担も軽減できる。

一方で、耐久性の観点からは、特に飛沫部ではコンクリート内部への塩分の浸入により、内部の鉄筋に腐食が生じることが懸念される。海上の大型の断面であるので、一旦鉄筋の腐食が懸念されると修繕は大がかりなものになってしまう。安全性については、ある程度顕著なひび割れに着目できるものの、耐久性については外観からの情報だけでは診断しにくい。また、移動体が撮影する画像には揺れ等の画像の補正等に起因した精度の問題が常について回る。

最終的に、橋脚については、外観の画像によるだけでなく別の方法も組み合わせることで、情報の不足が引き起こす維持管理リスクを管理することを考えた。本橋では、コンクリート部材中の塩分濃度の計測も行うことにされた。

(3) ケーブル部材

本橋では上部構造を複数本のケーブルで支持しており、一本のケーブルが突発的に破断したとしても残りのケーブルが健全である場合は、急激な落橋等に至る可能性は低い。一方で、腐食等が進行した場合、複数のケーブルで交換が生じるなど大掛かりな修繕が必要になる可能性が残る。

ケーブル部材は、ケーブルとそれを主塔や主桁に定着する定着構造からなる。特に定着部は異常の見逃しのリスクが高い部位である。なぜなら、ケーブルの振動などによる応力集中が生じやすいだけでなく、下側の定着部は、ケーブルを伝って水分が集中しやすい一方で、定着部は定着具により覆われ、内部の状態を把握することが困難であったり、有用な非破壊検査技術も著者らが調べる範囲では報告がない。そこで、近接目視を行うことにし、それだけでなく、図-5に示すように、一般部の被覆の損傷から被覆内部のケーブルを伝って定着部に滞水が生じたり、定着部のケーブルカバーの不具合などで定着部内部に水が浸入したことを想定して定着部内部での水みちを検討し、本橋のケーブル定着部ならではの点検の着目点を分析したうえで点検を行うことにした。

一方で、定着部に水が浸入している痕跡がなく、被覆が破られていなければ、防食性能の劣化を疑うべき可能性は小さくなる。そこで、一般部については写真-6(d)に示すように、ケーブル全長にわたってケーブル登攀ロボットを用い、むらなく被覆外観の画像情報を取得することにした。結果的に、近接するよりもきめ細かに記録ができるだけでなく、結果的に高所まで配置されているケーブルの点検作業を省力化できることが期待できる。

4.3 現場での試行例～ケーブル一般部

ここでは、点検支援機器の利用に着目し、ケーブル一般部の点検の例を紹介する。

本橋では、写真-7に示すように振動対策のためにケーブル被覆の表面にスパイラル形状とディンプル形状の加工がされたケーブルが混在している。点検支援技術性能カタログ<sup>9)</sup>では、ケーブルを登攀する能力についての試験は、表面が滑らかなケーブルでしか行われておらず、支援機器の供給者も、表面加工形状に応じた登攀性能についての情報を有していなかった。そこで、試行に先立って、登攀能力と画質の試験を行った。その結果、

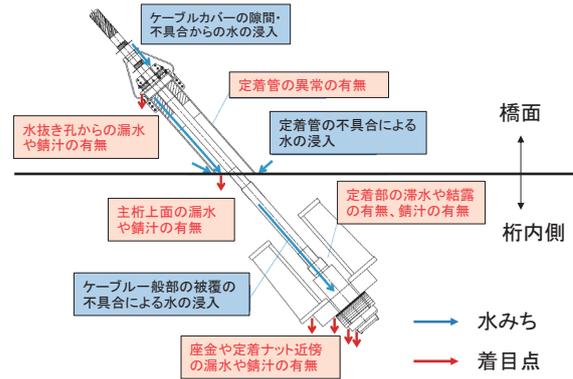
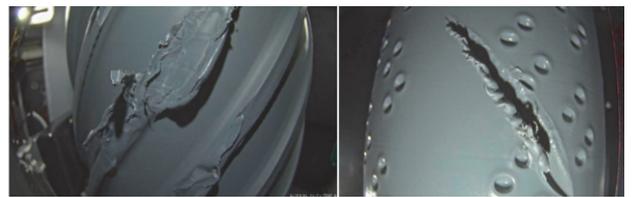


図-5 想定されるケーブル定着部の水みちと点検の着目点



(a) スパイラル形状 (b) ディンプル形状

写真-7 ケーブル被覆の状態

被覆表面形状と表面の傷などの存在に応じて登攀能力は変化し、移動速度を低下させるなどの工夫が必要であることが分かった。供給者が事前に試験を行っていたり、使用条件を提示していたとしても、多様な現地の条件を予め全て反映することは困難であると考えられ、支援機器を活用する場合には都度キャリブレーションが必要になると考えられる。

試行において得られたケーブル被覆の画像の例を写真-7に示す。写真-7(a)では、スパイラル形状の被覆表面に傷が見える。ケーブル素線が暴露されている状態にはないこともわかる。軽微な穴があることも否定できないが、別途目視を行ったケーブル定着部では水の析出の可能性を示すような変状は見られなかった。写真-7(b)は、ディンプル形状の被覆の画像の例である。被覆表面に傷が見える。しかし、ディンプルのへこみ部分が陰になり、画像からは状態が確認できないので、別の方法で改めて確認を行うことが必要と考えられる。一つの方法だけで状態を把握することは困難な場合も生じること、また、支援機器の性能の標準試験方法として、ケーブル被覆の表面形状の違いも反映させるべきであることがわかった。

4.4 経済比較の試算

すべての部材について近接して点検をした場合（基本ケースという）と今回の試行した方法を用

表-3 従来方法と提案方法でのコスト比較

		基本ケース		試行ケース	
ケーブル	①点検費	ロープ点検 (14日間)	0.15	カメラ画像	0.18
	②交通規制費	全面通行止め	0.33	誘導員配置	0.05
主塔 外側	①点検費	ロープ点検 (4日間)	0.04	カメラ画像	0.06
	②交通規制費	全面通行止め	0.09	なし	-
主桁 外側	①点検費	橋梁点検車 (10日間)	0.15	カメラ画像	0.23
	②交通規制費	全面通行止め	0.23	なし	-
合計	①点検費	0.35		0.46	
	②交通規制費	0.65		0.05	
	①+②	1.00		0.51	

いて近接での点検と支援機器での情報取得を併用した場合（試行ケースという）の費用を推計し比べた結果を表-3に示す。

両ケースとも例えば桁や主塔の内面、ケーブル定着部、支承周りは近接での点検が行われる一方で、主塔外面、主桁外面、ケーブル一般部の外面の点検方法が異なる。基本ケースでは、橋梁点検車、ロープ点検などが組み合わせられる。一方で、試行ケースでは、画像取得するための機器が用いられる。したがって、資機材等の単価と稼働日数や通行規制の日数と費用が異なる。なお、データ整理の内業費も異なるがここでは計上していない。基本ケースの費用を1.00としたとき、試行では0.51となり、費用軽減の効果が認められた。支援技術の活用により点検費用は増加したものの、ケーブル、主塔、主桁それぞれの点検のための通行規制にかかる期間が大幅に短縮でき、交通規制費が大幅に縮減できたことで、点検費用全体としてはメリットが大きかった。また、主塔やケーブル等の高所への近接が不要となることで危険性がなくなり、安全面でも優位であった。

## 5. まとめ

本研究では、定期点検の質の向上と省力化を目的として、維持管理リスクに応じて部材毎の点検方法に求める信頼性を差別化し点検方法を選定する方法を検討した。また、実橋での点検方法の試

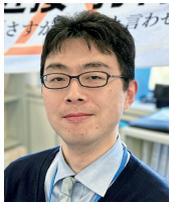
行を通じて有効性を確認できた。質の向上だけでなく、費用面でも、各部に近接するための通行規制時間や点検時間の制約が大きい橋では、支援機器等を用いるメリットが得られることが分かった。

一方で課題としては、事例の充実とルール的一般化が挙げられる。例えば、橋毎の構造の違いを反映したうえでFault Treeに分解するための方法論が確立されないと、点検方法の組み合わせの妥当性が客観的に検証することが難しい。また、点検支援技術の性能の評価も実際の実施結果を反映させ、標準化と充実を図る必要がある。

## 参考文献

- 1) 第11回道路技術小委員会 配付資料  
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001312713.pdf>
- 2) 第12回道路技術小委員会 配付資料  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000501.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000501.html)
- 3) 第10回道路技術小委員会 配付資料  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000418.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000418.html)
- 4) 第14回道路技術小委員会 配付資料  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000528.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000528.html)
- 5) トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会報告書、トンネル天井板の落下事故に関する調査・検討委員会  
<https://www.mlit.go.jp/common/001001299.pdf>
- 6) 餘久保陽、白戸真大：道路構造物の点検・監視の高度化と省力化に向けた取組み、土木技術資料、第62巻、第10号、p.8～13、2020
- 7) 玉越隆史他：リスク評価手法を用いた道路橋の維持管理、土木学会論文集F4（建設マネジメント）、71巻4号 p.I\_35～I\_44
- 8) 令和3年度道路調査費等年度報告、国総研資料第1221号、p91～92、令和4年8月
- 9) 点検支援技術性能カタログ、国土交通省、令和5年3月

岡田太賀雄



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室 主任研究官  
OKADA Takao

恵良将主



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室 交流研究員  
ERA Masakazu

白戸真大



国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室長、博士（工学）  
Dr. SHIRATO Masahiro

石津健二



国土交通省東北地方整備局東北道路メンテナンスセンターセンター長  
ISHITSU Kenji