

## 5. 維持管理

### 5.1 概要

日本の斜張橋は、1958年に建設された旧勝瀬橋（支間長128m、2006年に新橋が完成）が最初であり、以来、数多くの斜張橋が建設されてきた。斜張橋は、その美しい構造形式が人々に好まれ、解析技術、計算機の発達にも助けられ、1970年代後半から急速に発展した。一方で、斜ケーブルや塔など、部材数が多く、その規模も大きいことから、斜張橋は通常の橋梁と比較して、維持管理に費用が嵩むことになる。初期に建設された斜張橋は橋齢が40～50年を迎えており、その老朽化が問題となっている。

一般に、橋梁の寿命は、設計仕様、使用条件、維持管理状況に依存するが、特に維持管理状況によっても大きく変化し、適切な維持管理によって寿命を大きく引き延ばすことも可能である。最近の不適切な維持管理によると思われる事故、損傷がそれを物語っている。供用期間内の橋梁の要求性能を保持するために、適切な維持管理が要求されるが、特に、斜張橋は斜ケーブルによる吊り形式橋梁であり、一般橋梁とは異なる維持管理項目、維持管理手法が要求される部分もある。斜張橋について見ると、スパンが長く、可撓性に富む構造形式であることから、鉄道橋よりも道路橋、歩道橋としてその多くが供用されている。以下では、道路橋の斜張橋に焦点をあて、維持管理の現状、考え方、事例について述べる。

### 5.2 維持管理の現状

我が国の高速道路と直轄国道の橋梁は、「橋梁定期点検要領」<sup>1)</sup>に基づき5年に1度の頻度で定期的な点検を行うことが求められている。この点検は、橋梁のすべての部材についてコンクリートのひび割れや鋼材の腐食の有無およびその状況などを詳細に把握し、これらを総合的に判断して橋梁の健全度を判断するものである。また、この点検結果に基づいて計画的な修繕を行うこととしている。

従来、橋梁の維持管理においては、損傷が深刻化してから対策を施す「事後保全」が一般的であったが、橋梁点検に基づき損傷が軽微なうちから対策を行う「予防保全」に転換し、橋梁の安全性を確保するとともに、長寿命化を図ることが国土交通省をはじめ地方自治体においても実施されるようになってきた。これは、アセットマネジメントとも呼ばれ、維持管理作業、維持管理費を制約条件として、橋梁の長寿命化を図るマネジメントシステムである。

道路橋の点検に関しては、鉄道、港湾、空港、建築物のように法的な要求がない。これまで、道路管理者毎に独自に要領などを定め、点検にあたってきた。国土交通省、地方自治体においては、「橋梁定期点検要領」に基づき、点検を行っているが、斜張橋のような特殊な橋梁を有する自治体においては、独自の点検要領を有している場合もある。また、長大橋を管理している高速道路会社（旧道路4公団）でも独自の点検要領を有している。長大橋を多く管理する本州四国連絡高速道路（株）では、「点検管理要領」<sup>2)</sup>に基づき橋梁点検を行っている。表-5.1に点検種別、表-5.2に変状の判定基準を示す。なお、塗装の点検および判定等については、「保全管理要領」<sup>3)</sup>に基づき実施している。

表-5.1 本州四国連絡橋での点検種別

| 点検等の種類 | 点検等の内容  |
|--------|---|
| 定期点検   |   |
| 巡回点検   | 橋体にあらかじめ設置された管理用通路その他これに類する部分等を利用して目視により点検し、橋体の状況を把握し、利用者および第三者に対し影響を与える橋体の変状を早期に発見することを目的とした点検。<br>点検の頻度は、部位に応じて1ヶ月から3ヶ月に1度 (表-5.3 参照)。  |
| 基本点検   | 橋体の要求性能を把握し、性能低下の原因となる変状を評価し、補修の可否を判定する目的で管理路等および点検補修用作業車により橋体全体の各部位にできるだけ接近し、目視、触指、打音および非破壊検査により橋体細部の変状を把握し、橋体の健全性を評価することを目的とした点検。<br>点検の頻度は、過去の点検データ等を考慮のうえ点検対象物ごとに1年～2年に1回の割合で適宜設定する (表-5.3 参照)。       |
| 精密点検   | 橋体全体の安全性能及び使用性能に重大な影響を及ぼすと考えられる項目に対して計器による高度な測定を主体に、橋体全体の健全性評価の資料を得ることを目的とした点検 (表-5.4 参照)。<br>点検の頻度は、初めて行う年を1年目とし、1年目、3年目、5年目及び以降5年毎に行うことを原則とする。ただし、5年目までの点検で前回の点検と比べて、大きな形状変化が認められない場合は、以降10年毎に行うことができる。 |
| 不定期点検  |   |
| 異常時点検  | 地震、降雨、強風等により、災害発生の恐れがある場合、または災害が発生した場合に実施する点検。  |
| 臨時点検   | 巡回点検、基本点検、精密点検及び異常時点検とは別に、必要に応じて行う点検で、次に掲げるものをいう。<br>①巡回点検、基本点検及び精密点検で発見された変状について行う追跡のための点検<br>②その他必要に応じて行う点検   |

表-5.2 本州四国連絡橋での変状の判定基準 (構造系)

| 判定 | 変状の状況   |
|----|---|
| A  | 変状が著しく、安全性能または使用性能から見て、緊急補修の必要がある場合。                                |
| B  | 変状があり、安全性能または使用性能の低下が見られ補修が必要であるが、緊急性を要しない場合。または、調査が必要な場合。          |
| C  | 変状はあるが、安全性能または使用性能の低下は見られない。変状の進行状況を継続的に観察するか、または、詳細調査を実施する必要がある場合。 |
| D  | 変状がないか、もしくは軽微な場合。   |
| Q  | 変状の有無・程度の判定が困難で、別の手法により再点検する必要がある場合。                                |
| E  | 安全な交通や第三者に対し被害を及ぼす恐れがあり、緊急補修の必要がある場合。                               |

表-5.3 巡回点検、基本点検の項目及び頻度

| 分類      | 部位         | 細目       | 巡回点検                              |   | 基本点検  |   |                                      |   |                                      |
|---------|------------|----------|-----------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
|         |            |          | 頻度                                | 点検内容  | 頻度  | 点検内容  |                                      |   |                                      |
| 桁関係     | 路面周辺       | グレーチング   | 1回/3月                             | 部品落下、崩落の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。              | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |                                      |   |                                      |
|         |            | デッキプレート  |                                   |   |   | 目視  |                                      |   |                                      |
|         |            | 縦リブ      |                                   |   |   | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |                                      |   |                                      |
|         |            | 縦桁       |                                   |   |   | 目視  |                                      |   |                                      |
|         |            | 横桁       |                                   |   |   | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |                                      |   |                                      |
|         |            | 支承       |                                   |   |   | 目視  |                                      |   |                                      |
|         | コンクリート床版   | 目視       |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 主構部        | 上弦材      |                                   |   |   | 1回/3月                                       | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。          | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。 |
|         |            | 下弦材      |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         |            | 垂直材      |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 箱桁部        | 斜材       |                                   |   |   | 1回/3月                                       | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。          | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。 |
|         |            | 横構       |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| ウェブ     |            |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| コンクリート桁 | フランジ       | 1回/3月    | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。       | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |   |                                      |   |                                      |
|         | ダイヤフラム     |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 伸縮装置    | 主塔部        | 1回/月     | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。       | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |   |                                      |   |                                      |
|         | 橋台部        |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 橋脚部        |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 鋼床版部       |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 支承      | その他        | 1回/月     | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。       | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 取付部、添接部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |   |                                      |   |                                      |
|         | タワーリンク     |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | エンドリンク     |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 塔       | ウインドシユウ    | 1回/3月    | 部品落下の恐れのある取付部・添接部等に着目して管理路等より目視。  | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |   |                                      |   |                                      |
|         | その他支承      |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 塔柱         |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 斜材         |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 塔付属物    | 水平材        | —        | —                                 | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 目視  |   |                                      |   |                                      |
|         | アンカーボルト    | —        | —                                 |   |   |   |                                      |   |                                      |
| ケーブル関係  | 吊橋ケーブル     | ケーブル     | —                                 | —   | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 目視  |                                      |   |                                      |
|         |            | バンド      | 1回/3月                             | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。                 |   | 接近可能部分の1%について触指。その他は目視。                     |                                      |   |                                      |
|         |            | ハンガーロープ  |                                   |   |   | 接近可能なソケット部の1%について触指。その他は目視。                 |                                      |   |                                      |
|         |            | センターステイ等 |                                   |   |   | 目視及び接近可能な取付部の触指。                            |                                      |   |                                      |
|         |            | その他付属物   |                                   |   |   | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |                                      |   |                                      |
|         | ケーブル       | 目視       |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 斜張橋ケーブル    | 制振ロープ    | 1回/3月                             | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。                 |   | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 目視                                   |   |                                      |
|         |            | ケーブル     | —                                 | —   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 吊橋定着部      | アンカレイジ   | —                                 | —   |   | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 取付部、添接部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。 |   |                                      |
|         |            | ケーブルソケット |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         |            | ケーブルソケット |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         |            | ケーブルソケット |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 斜張橋定着部  | 桁側定着部      | 1回/3月    | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。       | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 添接部・取付部等については接近可能部分の1%について触指。その他は目視。        |   |                                      |   |                                      |
|         | 塔側定着部      |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| サドル部    | ケーブルソケット   | —        | —                                 | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 目視及び接近可能なソケット部の1%について触指。                    |   |                                      |   |                                      |
|         | ケーブルソケット   |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 下部構造    | 塔頂サドル      | 1回/3月    | 部品落下の恐れのある部位等に着目して管理路（地上含む）等より目視。 | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 目視及び接近可能部位の触指。                              |   |                                      |   |                                      |
|         | スプレーサドル    |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | アンカレイジ     |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 橋梁付属物   | 主塔基礎       | 1回/月     | 部品落下、崩落の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。    | 過去の点検データを考慮のうえ、点検対象物ごとに点検頻度を1回/1～2年で適宜設定する。 | 目視。取付部については接近可能部分の1%について触指。                 |   |                                      |   |                                      |
|         | ケーソン       |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 電気防食電位     |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 橋脚         |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
|         | 橋台         |          |                                   |   |   |   |                                      |   |                                      |
| 塗装      | 排水装置 本体    | —        | —                                 | —   | —   |   |                                      |   |                                      |
|         | 管理路 本体     | —        | —                                 | —   | —   |   |                                      |   |                                      |
|         | 緩衝工 鋼製     | —        | —                                 | —   | —   |   |                                      |   |                                      |
|         | ゴム製        | —        | —                                 | —   | —   |   |                                      |   |                                      |
|         | 作業車レール レール | 1回/3月    | 部品落下、崩落の恐れのある部位等に着目して管理路等より目視。    | —   | —   |   |                                      |   |                                      |
|         | 自歩道        | —        | —                                 | —   | —   |   |                                      |   |                                      |

\*異常時点検及び臨時点検は事象等に応じて項目、頻度及び内容等が変化するため、本表には含まない。

表-5.4 精密点検概要

| 点検項目          |                  | 橋梁形式 |     |      |      |    |
|---------------|------------------|------|-----|------|------|----|
|               |                  | 吊橋   | 斜張橋 | アーチ橋 | トラス橋 | 桁橋 |
| 橋体全体の<br>形状測定 | 温度測定 (気温, 部材表面)  | ○    | ○   | □    | □    | □  |
|               | 縦断線形測定           | ○    | ○   | □    | □    | □  |
|               | 主塔と補剛桁の相対位置測定    | ○    |     |      |      |    |
|               | (主)塔倒れ量測定        | ○    | ○   |      |      |    |
|               | 橋台と橋脚の移動量・回転量測定  | ○    | ○   | □    | □    | □  |
|               | 桁と下部工(塔)の相対移動量測定 |      | ○   |      |      |    |
| 構成部材の<br>形状測定 | ケーブルバンド軸力測定      | □    |     |      |      |    |
|               | ハンガーロープ張力測定      | ○    |     |      |      |    |
|               | 斜張橋ケーブル張力測定      |      | ○   |      |      |    |
|               | その他部材の形状・張力測定    | □    | □   | □    | □    | □  |

○：橋毎に実施，□：必要に応じて実施

### 5.3 斜張橋の維持管理

#### 5.3.1 維持管理の考え方

橋梁を建設する際の基本条件が、工期内に安全かつ経済的に施工するという点であるのは他の公共構造物の場合と変わらない。わが国において橋梁の整備が不十分であった時代では、この経済的に施工するという条件を満たすために完成後の維持管理は二次的なものとされ、もっぱらその建設のみに力が注がれていた。これは橋梁本体に付随する維持管理用の設備についても同様であり、長大橋など特別な場合を除いては十分な管理用設備を有するものは少なかった。しかし、橋梁の整備もある程度達成されて来た今日では、長期的な計画に基づいて、橋梁を社会資本として保全して行くことが重要な課題となっており、また新たに橋梁を計画する場合には完成後の維持管理にも配慮した設計を行うことが必要条件となっている。

橋梁の耐用年数は一般に 50～100 年として設計されるが、その長い期間中一貫した観点から点検・補修を続けることは極めて重要なことである。そのためには、基本思想の明確なメンテナンスマニュアルを作成しておく、たとえ管理担当者の交代があろうともその考え方を継承し、首尾一貫した姿勢で維持管理を行うことが重要である。橋梁の管理・点検に関するマニュアル・基準として、海外では AASHTO のマニュアル(1978)<sup>4)</sup> や DIN 1976 (1983)<sup>5)</sup> などがある。またわが国では橋梁定期点検要領<sup>1)</sup> のほか、道路橋補修・補強事例集 (2007 年版)<sup>6)</sup> が発行されており、一般の橋梁はこれらの基準・便覧に基づいて保守・点検が行われている。斜張橋の維持管理計画を立てるにあたっては、基本的には、これらの基準・便覧に準拠することとなるが、さらに主部材であるケーブルの特質を十分に把握した上で計画を立てることが重要である。斜張橋における過去の損傷事例をみると、西ドイツの Köhlbrand 橋、イギリスの Wye 橋、ベネズエラの Maracaibo 橋など、ケーブルに関係するものが多い。その原因はケーブルの腐食・疲労・振動などが主であるが、ほかにストランドやソケット合金部のクリープによるケーブル張力・主桁キャンバーの経年変化が問題となる場合もある。斜張橋を長期間に渡って使用して行くためには、設計段階からこのような問題点を十分に考慮して構造等を工夫しておくこととともに、完成

後十分な保守点検が容易にできる設備を用意しておくことが必要である。

### 5.3.2 設計段階で考慮すべき事項

斜張橋において特に重要な部材であるケーブルの維持管理について考慮すべき事は以下の通りである<sup>6)</sup>。

- ① ケーブルの腐食防止は維持管理上の最重要項目の1つであり、防食法の良否により橋梁の寿命は大きく左右される。ケーブルの防食にかかる費用は建設工費に比べればわずかなものであり、またその改・補修のために要する少なからぬ費用を考えれば、多少工費が増加しても過剰品質とならない範囲内で最善のものを採用すべきである。
- ② ケーブル端部のソケット取付部は活荷重や風などによる繰返し曲げ応力が作用するため、疲労強度上最も留意すべき重要な箇所である。ケーブル本体の防食が万全でもソケット取付部での防食に問題があれば、それはケーブルにとって致命的な弱点となる。この部分の腐食を防ぐにはケーブル自体の防食を完全にすると共に、主桁や塔のケーブル定着構造部にも雨水が浸入したり滞留しないように防水・排水にも配慮しておく必要がある。
- ③ 防食法に最善をつくした上でも、万一の損傷の場合を考えてケーブルは取り替えが可能なものとしておくことが必要である。そのためにはケーブルは1ストランド毎に独立して張り渡すようにし、また取り替え時にケーブル定着位置まで油圧ジャッキやラムチェアが搬入可能な構造としておくことが必要である。
- ④ ケーブルやその定着合金はクリープ現象を生じる。そのため完成後、長期間にわたってケーブル張力や橋体の形状に経時的な変化が生じる。その量が設計上問題になると予想される場合には、予めこれらの影響を考慮して設計しておくと共に、完成後の変化を追跡できる設備を用意しておくことが重要である。この場合、完成時でのケーブル張力・橋体形状のデータを保有しておけば以後の維持管理に非常に役立つものとなる。
- ⑤ 風による有害な振動が予想される場合、完成後に制振装置が取付け可能なものとしておく必要がある。また、場合によっては現地における継続的な動態観測設備も必要である。

斜張橋の主桁や塔の維持管理については、桁橋などの場合と同様に、塗装の劣化状態、鋼材の腐食の有無、部材の変形や損傷、ボルト類の緩みや損傷、雨水の浸入や滞留などの状況を的確に点検調査できる設備を配置しておくことが必要である。また、最近、長大斜張橋の増加と共に主桁・塔・ケーブル等に各種制振装置を付加したものが多くなっているが、その場合の維持管理の設備はこれらの保守・点検が可能なものとしておくことが望ましい。装置としてダンパーなどの機械類を使用している場合には特に重要である。さらに支承や伸縮装置などの付属物についても、その機能が正常に働いているかどうか点検できるようにしておくことが重要である。

なお、複合斜張橋などにおいて、コンクリート構造部分のクリープ現象の経時的な影響を確認する必要がある場合には、設計時において主桁のキャンパー、塔の倒れ量、ケーブル張力や、支承の移動量などの計測計画を確立しておき、そのために必要な機器・装置類を予め橋体に備え付けておくことが必要である。

### 5.3.3 維持管理設備の実例

斜張橋は、橋梁形式としては比較的新しいこと、わが国では橋梁の整備事業の方向が量産から蓄積・保全へと変わりかけてきた昭和50年代以降に完成したものが大半を占めること、また特に長支間橋梁に多いことなどから、長期間に渡って供用していくための維持管理については、設計段階から種々配慮されているものが多く、そのための設備も比較的よく整っているといえよう。

斜張橋に設置される維持管理の設備は、ケーブルに関する特殊なものを除いて一般橋梁のそれと大差ない。

その基本は橋梁のあらゆる構造部分に接近できるような設備とすることで、そのために検査車、エレベータ、ゴンドラ、各種点検通路、梯子、マンホール、吊り金具、照明設備などが設けられる。詳細は文献<sup>7)</sup>に述べられているので、ここでは斜張橋におけるこれらの実例について簡単に紹介する。

#### 1) 主桁の外側

主桁外側の維持管理は検査車・吊足場によるのが一般である。検査車は比較的規模の大きい長支間の斜張橋で使用される。わが国では末广大橋、大和川橋梁(図-5.1)、名港西大橋、天保山大橋、横浜ベイブリッジ(図-5.2)、多々羅大橋などに設置されている。また、近年、ラックレール式移動足場を採用する事例もある(多々羅大橋)。一方、最大支間長が200m程度以下の中小橋梁では吊足場を使用している例が多い。この場合、吊金具の配置については吊足場の設置手順を十分検討の上、決定する必要がある。

#### 2) 主桁の内側

箱断面主桁内部の維持管理は検査路などの点検通路によって行うのが一般であるが、下フランジ自体を通路として使用できるため、特にこのような点検通路を設けない場合もある。ただし、桁内の歩行空間が低い箱断面の場合には、多々羅大橋や新尾道大橋のように点検移動車を設置した例がある。また、点検通路を架設時や将来ケーブルの取り替えが必要になった時にジャッキ等の運搬路として兼用している例もある。一方、主桁がトラス構造の場合にも、櫃石島橋、岩黒島橋のように、桁内面にも検査車を設けた例がある。

#### 3) 塔の外側

塔外側の維持管理は塔頂部に金具類を設けておき、必要に応じて可搬式のゴンドラ装置を設置して維持管理する方法が採られている例が多い。塔外側を検査車で保守・点検する計画の例は、天保山大橋や櫃石島橋、岩黒島橋などの長大斜張橋において見られるが、その数は少ない。天保山大橋では塔外側にエレベータを設置しており(図-5.3)、塔外側の維持管理はこのエレベータの軌条を利用して行うこととしている。

#### 4) 塔の内側

櫃石島橋、岩黒島橋、多々羅大橋のように長大橋で塔柱断面の大きい斜張橋では、塔内面にエレベータを設けているが、大多数の斜張橋では梯子やタラップにより維持管理を行うこととしている。

なお、主桁内面や塔内面に照明設備を設けておけば、安全かつ正確な点検・調査ができ、維持管理にとって非常に有効と考えられる。

#### 5) ケーブル

通常の場合、ケーブルは橋面上から双眼鏡などにより、その塗装や被覆材の状況を調査するが、特に接近して検査をする必要がある場合にはトラッククレーンや高所作業車などを利用する。しかし、これらはその作業高さに制約があり、また安全面でも問題がある。このため、ケーブル専用の点検装置が使用されている例もあり(図-5.4)、わが国でも名港中央大橋にケーブル検査車がある。

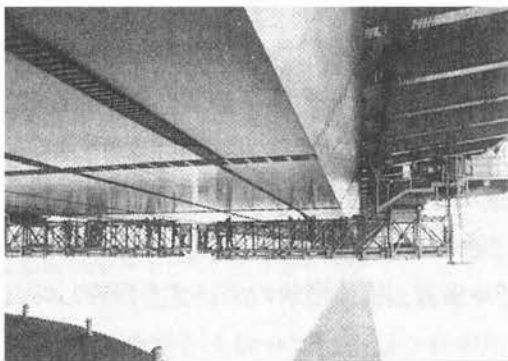


図-5.1 大和川橋梁の検査車

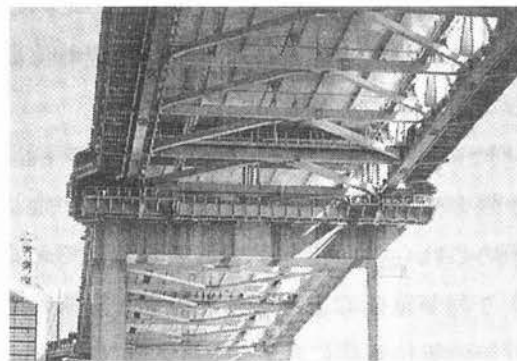


図-5.2 横浜ベイブリッジの検査車

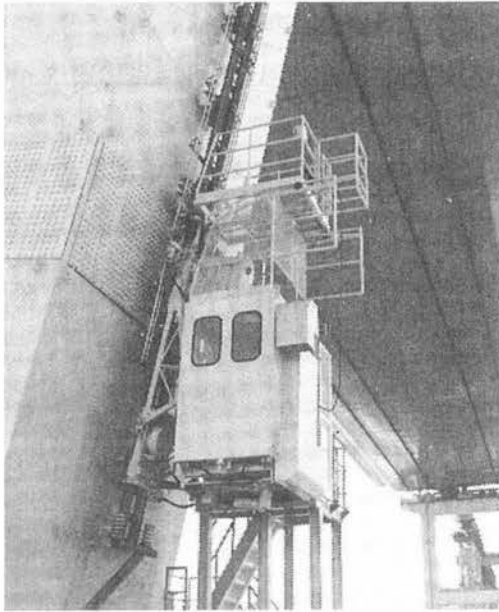


図-5.3 天保山大橋の塔外エレベータ

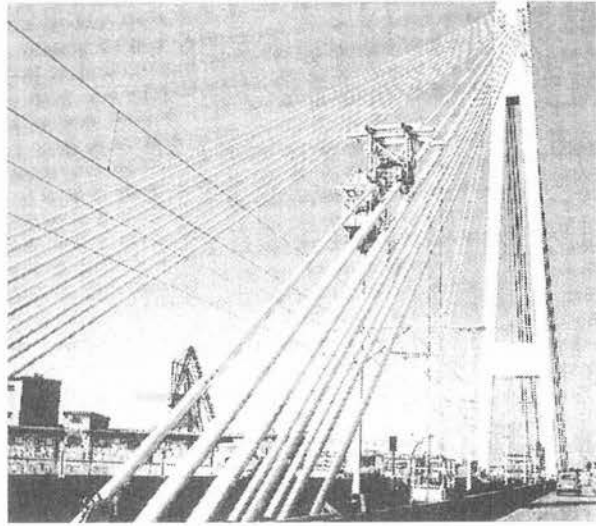


図-5.4 ケーブル検査車

## 5.4 維持管理の事例

### 5.4.1 概要

斜張橋は、主桁をケーブルによって支える吊り形式橋梁である。それゆえ、通常の橋梁構造に加えて、ケーブルに関する維持管理が発生する。また、斜張橋は一般的に長大支間構造であることから、荷重に対する変位も大きく、支承等の構造も大規模、特殊な構造となり、ここでも新たな維持管理上の問題を抱えることになる。損傷事例はそれほど多く公表されていないが、いくつかの損傷事例を次に示す。

斜張橋ケーブルは、ケーブル素線のまわりに被覆を施し、防食を行っている。ガラスマットやガラスクロスなどの繊維強化材にアクリル樹脂系の塗料を含浸させながら被覆を施すプラスチックラッピングが、昭和40年代から50年代前半にかけて多くの斜張橋で採用された。その後、経年劣化によるひび割れや剥離といった損傷が目立ち始め、これまでに数橋においてケーブル全長に渡って補修されている。主な補修工法としては、ポリエチレン管被覆に発泡ウレタン充填、ポリウレタンこて塗り、既設ラッピング撤去後に酸化重合型防食テープ施工などである。

櫃石島橋、岩黒島橋のケーブルにおいて、1995年6月に桁側のケーブル角折れ緩衝装置の損傷が発見され、ケーブル内部の防食剤の高分子注入材が変質して噴出しているのが見つかった<sup>8)</sup>。櫃石島橋、岩黒島橋は、並列ケーブルの採用によりウェイクギャロッピングが架設中から発現し、制振ワイヤーによる制振対策が採られていたが、完全には制振しきれずに繰り返し振動が生じた結果、角折れ緩衝装置の部分に損傷が発生したものと考えられている。

サンブリッジ(和歌山県)<sup>9)</sup>では、降雨後に大振幅のケーブル振動が発生し、橋桁の一部を損傷する事故が発生した。振動の原因は特定されていないが、ドライギャロッピングの発生が疑われている。また、横浜ベイブリッジ<sup>10)</sup>においても、2001年8月の定期点検において、ケーブル角折れ緩衝装置付近のケーブルポリエチレン被覆に損傷が発見された。ケーブル振動に伴う損傷と考えられているが、ケーブル振動の原因については特定されていない。

振動以外の損傷としては、伸縮装置に関連する事故が報告されている。櫃石島橋、岩黒島橋では、リンク式伸縮装置が採用されているが、このうち岩黒島橋のリンク式伸縮装置の取り付けボルトが抜け落ち、伸縮装置が傾斜（陥没）する事故が発生した<sup>8)</sup>。このため、ボルトのゆるみを発見しやすくするためのマーキング、ナット抜け落ち防止のための割りピン追加、伸縮装置の鉛直支承にストッパー設置の対策が取られた。

#### 5.4.2 ケーブルの維持管理<sup>11~14)</sup>

斜張橋のケーブルは、ポリエチレン管やポリエチレン被覆に覆われているものが多く、引張荷重を受け持つワイヤーの腐食状況や断線を直接目視検査することが出来ない。カーボンを2~3%配合したポリエチレンは非常に耐候性が良いが、グラウトタイプケーブルではグラウト注入によりポリエチレン管に大きなひずみを与えたために長手方向に亀裂が入り、そこから侵入した水によりワイヤーが腐食したLuling橋のような事例も報告されている。このようにケーブルの健全性を外観から判断することは難しく、長期に渡りケーブルの維持管理を行う上で、通常点検、定期点検、異常時点検<sup>1)</sup>など計画的に行うことが重要である。

通常点検は日常的な巡回として、目視によりケーブル外表面の損傷の有無やその定着体の外観の変形・腐食・漏水等を検査し、早期に異常を発見することが目的である。付属部材であるダンパーやブーツ等についても、将来ケーブルの機能に影響を及ぼす可能もあることから、ケーブル外観検査時に同時に点検することが必要である。

さらに定期点検として頻度を定めて、通常外観では判断できない部位である定着体の内部や、ケーブル張力の計測を行うことが望ましい。定着体内部の状態は、キャップを取り外すなどして、くさびやボタンヘッドに変状がないか目視で確認する。ケーブル張力は、建設時や前回測定時の値と比較して大きな変化や異常が認められた場合、定着体の異常やケーブル内部のワイヤーの腐食などによる断線、定着体からのワイヤーの抜け出しなどが疑われるため、より詳細な調査が必要となる。ケーブル張力計測方法には、振動法、サグ測定、磁歪法、ロードセルによる計測等があるが、ケーブルの常時微動から張力を算定する振動法が一般的に実施されている。

異常時点検は、地震や台風等の自然災害や橋面上での事故など発生した後、橋梁全体の異常の有無を確認する中で、ケーブルを目視確認する。ケーブル外表面や定着部等に異常がないかを、速やかに点検する。

内部に異常が疑われたケーブルの詳細調査では、評価するための非破壊検査手法が求められ、様々な開発が進められている。以下はその代表的なものであるが、いずれの方法においても評価項目、施工性、精度、適用部位等に制限がある。

##### ① 全磁束法（ケーブル一般部を対象）

強磁性体であるケーブルを強く磁化すると流れる磁束が鋼材断面積に比例するという原理を用いて、腐食などによる断面欠損を定量評価する方法。吊橋ハンガーロープをはじめ構造用ワイヤロープの非破壊検査法として実績がある。

##### ② 渦流探傷法（ケーブル一般部を対象）

交流を通電したコイルをケーブルに近づけると渦電流が流れ、この渦電流による二次的磁界を計測する。渦電流が、亜鉛の減少や鋼の断面減少などによる導電体の質量変化に応じて変化する性質を利用している。平行線ケーブルへの適用例がある。

##### ③ 超音波探傷法（定着体近傍を対象）

定着体端のワイヤー端部が露出した部分より超音波を送り、その反射波を検知することで断線を検出する方法。ボタンヘッド加工を施す平行線新定着法で海外の2~3の橋梁に適用された例がある。



### 5.4.3 斜張橋維持管理に関するアンケート

損傷事例以外にも維持管理上の問題点等を把握することを目的として、斜張橋を管理する道路管理者に斜張橋の維持管理に関するアンケートを実施した。アンケートは、国土交通省、地方自治体、高速道路会社等を対象として、以下のような質問を行った。

- ① 斜張橋の維持管理の有無
- ② 橋梁維持管理要領や点検要領の有無とその名称
- ③ 斜張橋に特化した維持管理要領あるいは斜張橋に関する項目の有無とその項目
- ④ 橋梁点検等の頻度
- ⑤ 不具合、損傷事例
- ⑥ 斜張橋管理の上での問題点
- ⑦ その他の情報、意見

アンケートに対して、次の管理者より回答が寄せられた。ここに記して謝意を示します。

国土交通省近畿地方整備局、NEXCO 東日本、NEXCO 中日本、NEXCO 西日本、本州四国連絡高速道路、首都高速道路、阪神高速道路、福岡北九州高速道路、北海道、埼玉県、神奈川県、横浜市、大阪府道路公社、大阪市、和歌山県、神戸市、徳島県、愛媛県

アンケート結果については、公開を希望しないところもあることから、以下に要約して示すこととする。

#### 維持管理・点検要領、斜張橋独自の点検項目

高速道路会社等においては、独自の要領を保有している。地方自治体においては「橋梁定期点検要領」を用いている場合もあるが、独自の要領を保有している自治体も多くある。ただし、斜張橋に特化した点検要領や点検項目については、高速道路会社等では存在するものの、地方自治体においてはほとんどが存在しない結果であった。

#### 橋梁点検の頻度

国土交通省、地方自治体では基本的に5年であるが、高速道路会社等ではそれよりも短い間隔で何らかの点検を実施しているようである。特に、高速道路会社では、点検種別を設け、点検の項目、方法、頻度を効率よく組み合わせる点検を実施している。なお、自治体の中には、足場の設置や交通規制を伴うことから塗り替え塗装や舗装補修実施時に同時に点検を実施するようにしているところもある。

#### 損傷事例等

##### (疲労)

- ・鋼床版デッキプレートとUリブ溶接部に多数の疲労亀裂

##### (支承等)

- ・ペンデル支承アンカーボルト抜け
- ・大型支承の不具合
- ・兵庫県南部地震時、東神戸大橋におけるウィンド支承、ペンデル支承、ベーンダンパー（橋軸方向減衰付加装置）、伸縮装置（楕形）、端橋脚の座屈、天保山大橋におけるケーブルダンパーの損傷
- ・橋台沈下に伴うケーブル張力異常

##### (滞水、漏水)

- ・斜材定着部の滞水、漏水
- ・主塔側のケーブルカバー内に滞水、塔内部に漏水（侵入経路はケーブルカバー取り付け周辺と考えられる。止水対策を実施）。
- ・強風によりコンテナ車が横転し、ワイヤーに接触したことにより被覆部材が損傷し、雨水がワイヤー内

に侵入した。

- ・箱桁内部へのケーブル定着部からの漏水があり補修を実施。
- ・ペンデル支承の箱抜き部の滞水

(腐食等)

- ・供用後 16 年が経過し、主塔部側面、箱桁内の塗装劣化が激しい。
- ・経年の影響によりケーブル鋼材表面に錆が発生したため、錆を除去し被覆防食を行った。
- ・塗装の劣化(部分的な錆の発生)
- ・ワイヤーの被覆が老朽化し、雨水が浸透した結果、ワイヤーが腐食した。
- ・ケーブル素線の腐食
- ・ケーブルラッピング補修

(ケーブル振動等)

- ・レインバイブレーションが発生していると思われる。
- ・降雨直後に大振幅の空力不安定振動が発生し、橋体を損傷した。
- ・ケーブル制振ダンパーの損傷
- ・角折れ緩衝装置部の損傷、制振ロープの破断

維持管理上の問題点等

(点検方法)

- ・ケーブルがポリエチレン管等で被覆されているため、直接目視が出来ない。
- ・点検については高所作業車が届かない塔上部や橋梁点検車(オーバーハング車)が届かない補剛桁(箱桁)下面は、別途、足場が必要である。
- ・点検環境の整備が必要(桁内部の照明等)
- ・近接目視による点検が難しく、損傷などの把握が難しい。
- ・アプローチが困難な箇所については望遠目視しかできない。
- ・塔の航空障害灯交換のため塔内の点検梯子を昇降するのが重労働である。維持管理する側の立場で考えて欲しい。
- ・ワイヤーが腐食した場合の対策に苦慮している。
- ・点検用足場の設置の判断が必要。

(点検項目)

- ・斜張橋に特化した点検ポイントの整理が必要。
- ・維持管理していく上での技術的な指針(点検実施の際の着目ポイント等)が不足。
- ・ケーブルや塔等、特有の部位の点検方法や点検項目に関する事
- ・点検マニュアルは一般橋梁を対象としており、斜張橋や長大橋では点検できない箇所が判明している。
- ・ケーブルや塔等、特有の部位の点検方法や点検項目に関する事
- ・斜張橋の点検要領など、他機関での点検手法があれば取りまとめて欲しい。

(点検経費等)

- ・特殊構造のため専門技術者を配したいが、人手不足で困難。
- ・斜張橋維持管理の技術的な知識・経験が十分とはいえないので、今後、他の高速道路会社などと斜張橋維持管理に関する技術についての情報交換が必要である。
- ・ケーブル張力の測定に際しては通行規制(計測機器の設置・撤去時には中央分離帯路肩あるいは追越車線の規制、計測時は交通荷重による影響を排除するため夜間通行止め)が必要である。

- ・維持管理予算の削減による点検項目・間隔の見直しは随時実施している。
- ・点検予算の都合で7年ごとの定期点検間隔が長期化する傾向あり。
- ・長大橋は点検部材が多く、費用も高い。
- ・通常の見視点検では、ケーブル、主塔の変状発見が困難であるため、定期的（2～3年）に専門業者による点検が必要となり維持管理費が膨大となる。
- ・橋梁点検車による支承、桁下面点検のため経費がかさむ。
- ・補修費用も箇所によっては高額になり、財政面から対策に数年かかることが予想される。
- ・点検については専門的知識を有する者への委託が必要。
- ・一般的な橋梁より維持管理コストが高い。
- ・耐震対策等に特殊工法が必要となり、一般橋梁より費用がかかる。また、施工にも技術力が必要で施工可能な業者が少ない。

(技術的な問題)

- ・舗装完了後供用直前の状態での初期値計測がされていない（橋面工施工前の出来高値は有り）⇒精密点検を実施する上での初期値が無い。

## 5 参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領（案），2004.3.
- 2) 本州四国連絡橋公団：点検管理要領，平成11年3月
- 3) 本州四国連絡橋公団：保全管理要領，平成10年8月
- 4) 梶田：AASHTO・橋梁の維持点検マニュアル(1978)について，橋梁と基礎，1984.12.
- 5) 松川：斜張橋のケーブルの保全と設計に関する1，2の考察，橋梁と基礎，1984.12.
- 6) 日本道路協会：道路橋補修・補強事例集（2007年版），2007.
- 7) 土木学会：鋼橋の維持管理のための設備，1987.3.
- 8) 岩屋勝司，松本毅：長大橋の管理技術，橋梁と基礎，pp.155-161，1998.9.
- 9) 池永，楠原，宮崎，下土居：和歌山県サンブリッジケーブルの振動特性，土木学会第60回年次学術講演会，I-333，pp.663-664，2005.9.
- 10) 山本，岡崎：横浜ベイブリッジのケーブル被覆損傷の一考察，土木学会第63回年次学術講演会，I-280，pp.559-560，2008.9.
- 11) TRANSPORTATION RESEARCH BOARD：Inspection and Maintenance of Bridge Stay Cable Systems，2005
- 12) 亀井，岩崎，杉井，高松：北港連絡橋ハンガーケーブルの維持管理，橋梁と基礎，1987.5
- 13) 橋田，広沢，橋本，道下，松本：渦流探傷法による吊橋用PWSの非破壊検査，土木学会論文集，2009.9
- 14) 酒井，菊地：本四連絡橋の防食，本四技報，Vol32，No.110，2008.3