

斜材システムと定着部の維持管理方法について

— 性能創造型設計法に基づく高耐久化を目指して —

酒井 秀昭*1・白濱 昭二*2・細居 清剛*3

近年、インフラの老朽化にともなう橋梁の維持管理が急務になっているが、高度経済成長期に多く建設された橋梁に比べて比較的新しい構造形式であり、歴史も浅い斜張橋やエクストラードード橋に関しても、その状況は同じである。主桁、塔、斜材から構成される斜張橋やエクストラードード橋では、斜材は重要な構成要素であり、特に桁に比べて斜材がより多くの鉛直荷重を分担する斜張橋においてはその重要度は大きく、斜材の維持管理を適切に行うことが、斜張橋やエクストラードード橋の高耐久化や安全性の確保にはきわめて重要である。これらのことから、斜材システムとその定着部の維持管理方法について、既往の技術資料、実橋の点検結果および筆者らが開発した非破壊検査機器による調査結果などから性能創造型設計法に基づく維持管理方法について検討を行った。

本報告においては、「コンクリート構造設計施工規準－性能創造型設計－」に規定されている性能創造型設計法に基づく斜張橋およびエクストラードード橋の斜材システムとその定着部の維持管理方法について述べる。

キーワード：斜張橋，エクストラードード橋，斜材システム，定着部，維持管理

1. はじめに

近年、インフラの老朽化にともなう橋梁の維持管理が急務になっているが、高度経済成長期に多く建設された橋梁に比べて比較的新しい構造形式であり、歴史も浅い斜張橋やエクストラードード橋（以下、「斜張橋等」という。）に関しても、その状況は同じである。主桁、塔、斜材から構成される斜張橋等では斜材は重要な構成要素であるため、斜材の維持管理を適切に行うことが、斜張橋等の高耐久化や安全性の確保にはきわめて重要である。

斜張橋等の維持管理方法については、PC工学会が2011年1月に「PC斜張橋・エクストラードード橋維持管理指針」¹⁾を策定している。この指針は、「2007年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会）」に準拠しながら、斜張橋等の維持管理手法について取りまとめたものである。

PC工学会では、2011年9月に「コンクリート構造設計施工規準－性能創造型設計－」²⁾（以下、「性能創造型設計規準」という。）を策定している。また、これに基づきPC構造を採用した構造物の効率的な維持管理の実施と高耐久化を目的として、2015年3月に「PC構造物高耐久化ガイドライン」³⁾（以下、「高耐久化ガイドライン」という。）を策定している。これらのことから、斜張橋等の維持管理方法においても、性能創造型設計法に基づく合理的な維持管理方法の策定が望まれている。本文においては、道路の斜張橋等の維持管理において重要な部位・部材である斜材システムとその定着部について、既往の技術資料、実橋の点検結果および筆者らが開発した非破壊検査機器による調査結果などから性能創造型設計法に基づく維持管理方法について検討を行ったものである。

2. 斜材システムの概要

斜材システムは、斜材、斜材定着具および制振装置で構成され、さらに斜材は斜ケーブル、保護管、充填材などで構成されている。日本の斜張橋等に使用されている主な斜材システムを表-1に示す⁴⁾。本章では、これらの斜材システムを構成する各要素に関して述べる。

2.1 斜ケーブル

斜張橋等の斜ケーブルには、一般に平行線ケーブルまたはPC鋼より線が使用されている。

(1) 平行線ケーブル

素線をほぼ平行に束ねた状態で使用するため、より（撚り）による強度低下がなく、ケーブルの引張強度は、個々の素線の引張強度にそのまま素線数を乗じた値と同等である。また、ヤング係数も素線と同様で、設計荷重下でのクリーブもPC鋼より線による斜ケーブルよりも小さい。

(2) PC鋼より線

主にプレストレストコンクリート用の緊張材に使用されるケーブルで、シングルジャッキを使用してPC鋼より線を1本ずつ緊張を行うことが可能である。なお、近年では耐食性を向上させるために、より線に亜鉛めっきを施したもののほかに、エポキシ樹脂被覆やポリエチレン被覆を施したものが用いられることが多い。

2.2 定着方法

(1) 亜鉛合金鑄込み定着


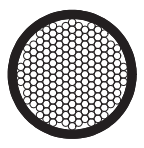
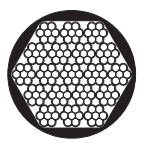
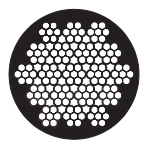
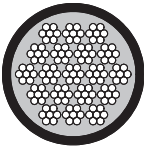
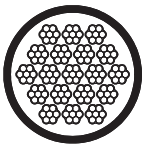
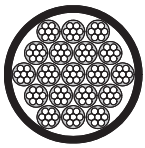
平行線ケーブルの定着方法として一般的な方法で、内面がテーパ形状の鋼製のソケットに素線を広げたケーブルを挿入し、鑄込み材を充填して定着する。鑄込み材としては、亜鉛98%、銅2%の亜鉛合金を使用することが多い。

*1 Hideaki SAKAI：中日本高速道路(株) 技術・建設本部

*2 Shoji SHIRAHAMA：神鋼鋼線工業(株) エンジニアリング事業部

*3 Kiyotaka HOSOI：神鋼鋼線工業(株) 技術部 PC鋼線技術室

表 - 1 主な斜材システム

斜ケーブル種類	平行線ケーブル		PC 鋼より線				
	亜鉛めっき、 裸線	亜鉛めっき	亜鉛めっき、 エポキシ被覆、 PE 充填密着被覆	防錆油	裸線	エポキシ被覆、 PE 充填密着被覆	亜鉛めっき + 防錆剤 + PE 被覆
ケーブルの防食	保護管 + 充填材	一括押出 PE 被覆	一括押出 PE 被覆	一括押出 PE 被覆	保護管 + 充填材	保護管	保護管
斜材断面							
主な定着方法	亜鉛合金鋳込み 平行線新定着	平行線新定着	くさび	圧着	くさび	くさび	くさび
製作システム	工場製作		セミプレファブ	工場製作	現場製作		

(2) 平行線新定着法

亜鉛合金鋳込み定着に使用される亜鉛合金の代わりに、エポキシ樹脂 + 鋼球を使用し、ワイヤ先端部にボタンヘッド加工を行ったものや、ソケット先端部のケーブルに作用する応力集中を緩和させるために、先端部近傍にエポキシ樹脂を充填したものなどがある。疲労強度が高く、大型斜張橋での実績が多い。

(3) 圧着定着

円筒形のスリーブに PC 鋼より線束を挿入し、冷間圧着加工を行う定着方法である。日本独自の定着方法であり、海外での実施例はない。

(4) くさび定着

くさびを用いて PC 鋼より線をアンカーヘッドに定着する方法である。くさびの形状などの改良により斜材の定着方法として採用されている。

2.3 防食方法

斜張橋等の斜材の防食方法として、当初は保護管 + 充填材が使用されていたが、現在では、工程上不利なグラウト注入作業を省略できる一括押出ポリエチレン被覆や被覆 PC 鋼より線を用いた現場製作斜材システムなどのノングラウトタイプの斜材が主流となっている。防食方法として、一般には鋼材表面に亜鉛めっきなどを行う防食に加えて、被覆や保護管によるケーブル全体の防食を行う多重防食としている。以下に、単独の裸鋼材および鋼材の集合体としてのケーブルに対する主な防食方法を示す。

(1) 鋼材防食方法

鋼材の防食方法としては、一般に以下に示す方法が使用されている。

- ① 亜鉛めっき (溶融亜鉛めっき)
- ② エポキシ樹脂被覆
- ③ ポリエチレン充填密着被覆 (PE 充填密着被覆)
- ④ 亜鉛めっき + 防錆剤 + ポリエチレン被覆 (PE 被覆)

(2) ケーブル防食方法

裸線または防食処理された鋼材を束ねたケーブルの防食方法としては、一般に以下に示す方法が使用されている。

- ① 保護管 + 充填材
- ② 一括押出ポリエチレン被覆 (一括押出 PE 被覆)
- ③ 保護管

2.4 工場製作斜材システムと現場製作斜材システム

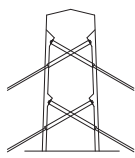
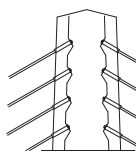
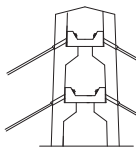
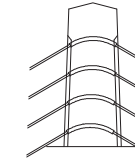
斜材システムは、製作方法や架設方法によって、工場製作斜材システムと現場製作斜材システムの 2 種類に大きく分類することができる。さらに、その両方の特徴をもったセミプレファブケーブルもある。

3. 塔と主桁の斜材定着部の概要

3.1 塔の斜材定着部

塔の斜材の定着方法あるいは固定方法は、主に表 - 2 に示す方式がある¹⁾が、外観上はその構造を把握することが困難であり、その方式によって維持管理における点検方法も異なる。したがって、維持管理計画策定には、対象橋

表 - 2 主な塔の斜材定着部の構造¹⁾

固定方式 名称	分離固定方式			貫通固定方式 サドル定着
	クロス定着	セパレート定着	連結定着	
側面図 ・ 断面図				
構造	<ul style="list-style-type: none"> ・充実断面として斜材を交差定着する ・施工実績が多い ・ねじりに対する配慮が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・中空断面として斜材を交差定着させない ・相互に定着された斜材張力に対し PC 鋼材や鋼殻で補強 ・斜材定着部の点検が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・中空断面として斜材を交差定着させない ・相互に定着された斜材張力に対し鋼製のはりに対応 ・斜材定着部の点検が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・充実断面として斜材を貫通させて配置 ・塔出口部等で左右の斜材張力差を固定 ・斜材貫通部の点検ができない。

梁の塔の斜材の定着構造や特徴を十分に把握する必要がある。

3.2 主桁の斜材定着部

主桁の斜材定着部の構成例を図 - 1 に示す。多くの斜張橋等では斜材の両端部に発生する曲げ応力を緩和するため、斜材定着装置に「ワッシャー」や「リング」と呼ばれるネオプレンゴムがケーブル端部近くのガイドパイプ内にある PE 管の周囲に取り付けられている。ネオプレンゴムは曲げ応力を緩和するだけでなく、斜材の振動減衰にも寄与する。また、必要に応じて、定着部近傍の保護管にダンパーを取付けて振動を減衰させているものもある。

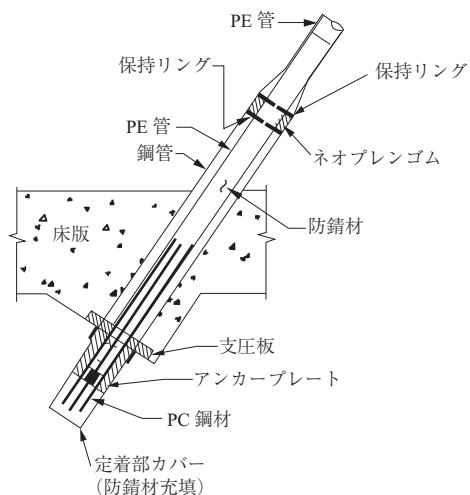


図 - 1 斜材定着装置および斜材定着部の構成例

4. 維持管理の基本

性能創造型設計規準においては、「コンクリート構造物は、設計供用期間内において供用目的に適合した所要の機能を確保できる性能を有しなければならない。」と規定されている。したがって、斜材システムおよびその定着部を構成する部位・部材についても、図 - 2 に示すように設計供用期間中は、機能を確保できる性能を有している必要がある。

図 - 2 に示すケース 1 は、設計供用期間中に補修・補強を行わないとして設計された場合を示しており、維持管理においては、定期的に診断してその性能を確認する必要がある。ケース 2 は、設計供用期間中に補修・補強を実施

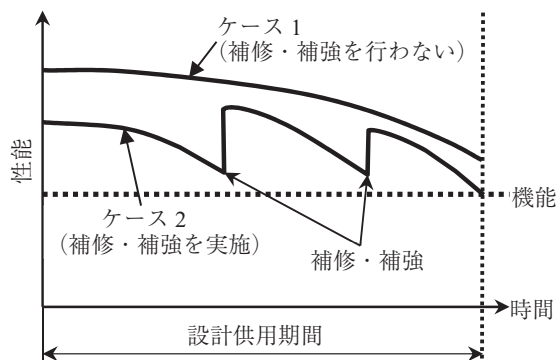


図 - 2 性能創造型設計規準の機能と性能の関係

するとして設計された場合を示しており、定期的に診断してその性能が一定程度低下した段階で、補修・補強または更新などを行う必要がある。

維持管理においては、設計供用期間を通じて斜材システムおよびその定着部を構成する部位・部材が、供用目的に適合した所要の機能を確保できる性能を保持できるように維持管理計画を策定し、所要の維持管理体制を構築のうえ、適切に維持管理を実施する。維持管理は、維持管理計画、診断、対策、記録から構成され、図 - 3 に示す手順で実施する。対策には、点検強化、補修、補強、供用制限、更新などがある。

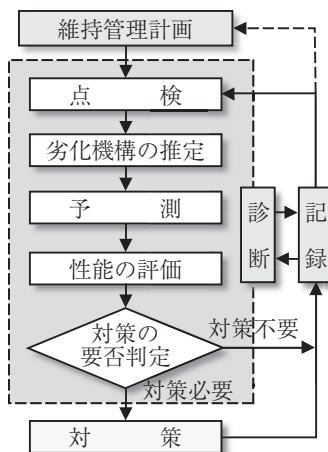


図 - 3 維持管理の手順

5. 診断方法の基本

5.1 診断の種類と概要

診断には、初期の診断、定期の診断、および臨時の診断があり、それぞれの目的に適した診断を、維持管理計画の策定時に定めた診断の計画に基づき実施する。

初期の診断は、橋梁の初期状態を把握する場合、あるいは大規模な補修、補強などで維持管理計画の見直しが必要な場合に実施する。初期の診断では、初期点検結果を基に劣化機構の推定、劣化予測、対象橋梁の性能の評価および対策の要否の判定などを実施し、維持管理計画の妥当性を確認する。

定期の診断は、供用中の橋梁の性能を評価し、対策の要否を判定するために実施する。定期の診断は、日常の巡回で点検が可能な箇所について行う日常点検と、日常点検で把握しづらい橋梁の細部も含めた箇所について行う定期点検に基づき行う。定期の診断では、日常点検あるいは定期点検により初期欠陥、損傷、劣化の有無を把握するとともに、劣化機構の推定および劣化予測を行い、橋梁の性能を評価し、対策の要否を判定する。

臨時の診断は、供用中の橋梁に偶発的な外力が作用した場合など、緊急に診断が必要となるような状況が生じた場合に実施する。臨時の診断は、臨時点検あるいは緊急点検により、損傷や劣化などによる変状の程度を把握して橋梁の性能を評価し、対策の要否を判定することを目的として実施する。

5.2 点検の種別と概要

点検には、初期点検、日常点検、定期点検、臨時点検、緊急点検があり、診断の目的に応じて適切な方法で実施する。

初期点検は、初期の診断のために実施する。初期点検で実施する標準調査の項目および方法は、近接目視や打音などによる調査と、設計、施工に関する書類調査とする。ただし、斜材の張力については、安全性や耐久性の性能照査を実施するための初期値として非破壊検査により調査する。標準調査の結果から、変状が認められた場合や初期欠陥の把握が困難な場合などは、必要に応じて詳細調査を実施する。

日常点検は、定期の診断のために、日常の巡回で点検が可能な範囲について、劣化、損傷の有無や程度の把握を目的として実施する。日常点検における標準調査では、遠望目視、車上目視を標準とし、必要に応じて橋面からの近接目視や橋梁上部工下面からの遠望目視、近接目視を行うものとする。標準調査の結果から、変状が認められた場合などは、必要に応じて詳細調査を実施する。

定期点検は、定期の診断のために、劣化、損傷の有無や程度の把握を目的として実施する。定期点検における標準調査では、近接目視や打音などによる調査を標準とし、近接目視が困難な箇所や斜材の張力は、今後は非破壊検査機器により調査する必要がある。標準調査の結果から、変状が認められた場合は、必要に応じて詳細調査を実施する。

臨時点検は、災害や事故など供用中の橋梁に偶発的な外

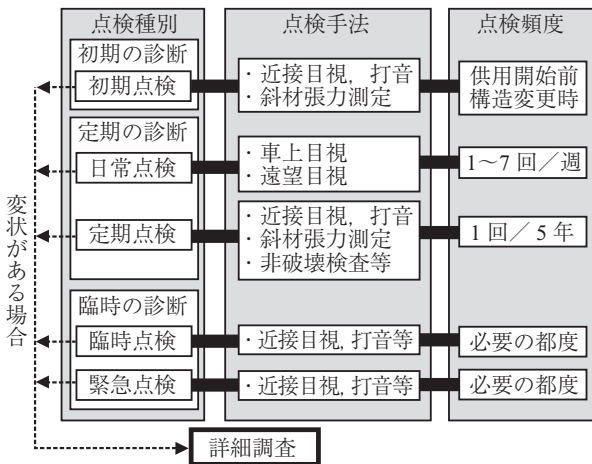


図 - 4 点検種別ごとの点検手法、点検頻度の概要

表 - 3 斜材システムの点検種別ごとの点検項目および調査方法

部位・部材	点検項目	点検方法	点検種別			
			初期点検	日常点検	定期点検	臨時点検
斜材	斜ケーブル	張力	○	—	○	△
		振動	○	○	○	△
	保護管	損傷・変形	○	—	○	△
		充填材の漏出	○	—	○	△
斜材定着装置	定着装置の損傷・変形・腐食	目視またはファイバースコープ	○	—	○	△
		超音波	△	—	△	△
制振装置	水分の浸入	目視またはファイバースコープ	○	○	○	△
		損傷・変形・さび・粘性体の漏れ・高減衰ゴムの破損等	目視	○	—	○

○：実施項目，△：責任技術者の判断により必要に応じて実施する項目

力が作用した場合で、損傷を受けた可能性がある部位・部材を対象とし、可能な限り早急に実施する。臨時点検における標準調査では、近接目視や打音などによる調査を実施する。標準調査の結果から、変状が認められた場合などは、必要に応じて詳細調査を実施する。

緊急点検は、類似の橋梁あるいは部位・部材に著しい変状や変状に伴う事故等が発生した場合に、同種の変状が生じる可能性がある部位、部材を対象として実施する。

点検種別ごとの点検手法、点検頻度の概要を図 - 4 に示す。

6. 点検項目および調査方法

6.1 斜材システム

斜材システムは、斜材、斜材定着装置および制振装置で構成され、さらに斜材は斜ケーブル、保護管、充填材などで構成されているので、これらの構成部位・部材ごとに点検項目や調査方法を定める必要がある。斜材システムの点検種別ごとの点検項目および調査方法の概要を表 - 3 に示す。以下に構成部位・部材ごとの調査方法について述べる。

6.1.1 斜ケーブル・保護管・充填材

斜材は、振動を一定の振幅以内として疲労破壊を防止することおよび斜ケーブルの張力を一定の範囲内に維持することが必要となるため、振動の程度および張力を調査する必要がある。また、斜ケーブルは、保護管や充填材などにより鋼材の腐食を防止しているため、その機能が保持されているか定期的に調査する必要がある。しかし、斜ケーブル・保護管・充填材の調査は高所となることや近接することが困難な箇所が多く、高所作業車、ロープアクセス技術による目視および写真 - 1 に示す自走式点検ロボット（特許出願中）に搭載したイメージセンサー（ビデオカメラ、デジタルカメラ）などにより調査する必要がある。目視調査の結果から、保護管に損傷や変形などがある場合は、斜ケーブルの腐食などによる破断の有無や程度について非破壊検査を行う必要がある。斜材の振動の要因、斜材の張力測定方法、保護管の損傷要因および斜ケーブルの破断の有無や程度を調査する非破壊検査方法について以下に述べる。

(1) 斜材の振動

斜材は、構造減衰が比較的小さいことから、風により渦励振、ウエイクギャロッピング、レインバイブレーションなどの振動現象が発生する場合がある。したがって、斜材



写真-1 自走式点検ロボットによる調査 (東名足柄橋)

が振動するかどうかについては、風速・風向ばかりでなく、降雨・気温・日射等によっても影響されるため、ある風速・風向で振動していなくても、突然振動を始める場合がある。そのため、日常点検において斜材の振動の程度を重点的に目視で調査するのが望ましい。

(2) 斜ケーブルの張力

斜ケーブルの張力の測定は、EM (Elasto-Magnetic) センサーや振動法により計測することが可能である。振動法は、斜材の曲げ振動方程式から張力を測定する方法であり従来から多くの実績がある。この手法ではケーブルの曲げ剛性値を事前に対象ケーブルの実大試験などで測定しておく必要がある。現地でのケーブル張力測定時のすべての状況を想定して事前試験を行うことは困難であり、事前試験と現地試験とで条件が異なることに起因する張力算定誤差が生じる可能性がある。この問題を解決するために、複数の高次の固有振動数とモード次数の関係式から直接、張力と曲げ剛性を同時に求める新しい高次振動法が実用化されており、吊橋や斜張橋等の吊構造物では十分な精度を有していることが確認されている⁵⁾。

斜材の張力の測定にあたっては、気温、日射の程度および振動や制振装置などの影響を受けるため、測定条件の検討が必要となる。

(3) 保護管の損傷要因

保護管や被覆材の材料として主に使用される高密度ポリエチレンは、クリープ特性と耐ストレスクラッキング性に優れており、またカーボンブラックと紫外線吸収剤を添加することによって耐候性が向上している。したがって、通常の使用では耐久性に優れた材料であるが、架設時の損傷や供用中の温度応力、振動、落雷、車両の衝突などの外的作用によって、保護管のひび割れ、圧痕、きずや鋼線の露出が発生する場合がある。

現場製作斜材システムでは、保護管を架設する前に橋上で短尺のPE管を溶接して組み立てられる。また、工場製作型斜材システムの保護管は、現在では一括押出成形が主流であるが、かつては工場短尺のPE管が溶接されている場合もあった。このように、接続部を有する保護管では溶接部などに亀裂が入っている場合がある⁴⁾ので、点検時には注意が必要である。

保護管に充填するタイプの斜材では、充填材の注入は斜材の下部から上部に向かって行われるため、通常、斜材の

中間部にいくつかの充填材注入口(排気口)を設けて分割注入が行われる。この注入口は、充填材注入後、ポリエチレン溶接などによって封止されるが、経年による溶接部の割れが発生する事例が見られるため、注入口の溶接部は注意して点検を行う必要がある。充填材としては主にセメント系グラウトが用いられるが、不完全な施工により保護管中に空隙が生じたり、ブリージング水が滞留したりすることがある。

(4) 斜ケーブルの非破壊検査

斜ケーブルの腐食や断線を調査する非破壊検査として代表的なものが、渦流探傷法と全磁束法であり、斜ケーブル一般部が対象である。

渦流探傷法は、コイルに交流電流を流して磁界を発生させ、そのコイルを検査対象である導電性物質に近づけて移動させ、斜ケーブルを構成するワイヤやストランドの腐食による断線などに応じた信号の変化を検知することにより腐食による断線の発生位置やその程度を評価する方法である。渦流探傷法は、装置が軽量で取り扱いが簡便であり、写真-1に示した自走式点検ロボットに装着して計測が可能で、東名足柄橋などで実施している。

全磁束法は、ケーブルを軸方法に飽和磁化させたときにケーブル内部に流れる磁束(全磁束)を測定することによって、腐食などによるケーブルの断面欠損を定量的に評価する方法である。ケーブルに飽和に近い磁束を流さないと計測精度が上がらないため、検出部の軽量化が困難であり、そのため高所では作業性が低下する。

6.1.2 斜材定着装置

斜材定着装置は、斜ケーブルの種類や定着方法あるいは主桁や塔の構造によって相違するため、点検の対象となっている斜張橋等の斜材定着装置の構造や特徴について設計図書などを参照し十分に理解して点検時の調査を行う必要がある。斜材定着装置近傍の斜材は、一般に鋼管のガイドパイプの中央付近に配置され、ネオプレンゴム(または高減衰ゴム)がケーブル端部近くのガイドパイプ内にあるPE管の周囲に取り付けられている。このガイドパイプ内に雨水や塩化物イオンなどが侵入すると斜材定着装置の鋼材が腐食するため、一般に写真-2に示すゴムカバーを取り付けており、定期点検においては、これはずして内部を目視やファイバースコープで調査する。このゴムカバーは、写真-3に示すように斜材の振動による亀裂の発



写真-2 ゴムカバー



写真-3 ゴムカバーの亀裂

生や劣化による損傷および取付け金具の脱落等によりガイドパイプ内に雨水や塩化物イオンなどが侵入するおそれがあるため、日常点検や定期点検時に目視により調査する必要がある。

斜材定着装置の定着具カバーについては、取り外しが可能な構造となっているので、定期点検時に取り外して定着具の端部の腐食や亀裂の有無について目視調査する必要がある。目視調査により亀裂が確認された場合は、超音波探傷試験などにより亀裂の程度を調査する必要がある。一般に定着具カバーは水抜き孔があるので、これから錆汁などが滲出している場合は、その内部を必ず調査する必要がある。

6.1.3 制振装置

斜材の制振装置としては、一般にオイルダンパー、粘性せん断ダンパーおよび高減衰ゴムダンパーなどが用いられている⁹⁾。オイルダンパーおよび粘性せん断ダンパーは、主桁と斜材定着部近傍の保護管とを連結する部材として設置されており、橋面から点検が可能であるので、定期点検時に目視調査する。調査にあたっては、ダンパーを構成する部材の腐食やボルト等のゆるみおよび内部のオイルまたは粘性体の滲出の有無、劣化の程度などを確認する。

高減衰ゴムダンパーは、斜材定着装置の鋼管のガイドパイプのリングと一体となって保護管を拘束する形状で固定されている。点検にあたっては、写真 - 2 に示したゴムカバーを取り外してゴムの亀裂などを目視により調査する。

6.2 塔と主桁の斜材定着部

斜材定着部は、斜張橋等を構成する重要部材のひとつであり、斜材定着部の変状は、構造系全体の安全性に対して大きな影響を与える。塔と主桁の斜材定着部の点検種別ごとの点検項目および調査方法の概要を表 - 4 に示す。また、その調査方法について以下に述べる。

6.2.1 塔の斜材定着部

塔の斜材定着部は、表 - 2 に示したように各種の定着方式があるため、その構造や特徴について設計図書などを参照し十分に理解して点検時の調査を行う必要がある。定着方式ごとに点検方法の特徴について以下に述べる。

(1) 分離固定方式

クロス定着においては、塔の定着部近傍を外面から目視

で調査を行う。クロス定着の構造によっては、定着具の端部がコンクリート中に埋め込まれているタイプ（東名足柄橋など）と定着具の端部が目視で確認できるように定着可能なカバーが取り付けられているタイプ（豊田アローズブリッジなど）があるので、これらを考慮して調査を行う必要がある。

セパレート定着・連結定着は、塔の定着部近傍を外面から目視で調査を行うとともに、写真 - 4 に示すような中空となっている塔内部から定着具およびその近傍を調査する。セパレート定着においては、写真 - 4 に示したように鋼殻で定着部を補強しているものもあるので、鋼部材も調査を行う必要がある。

(2) 貫通固定方式（サドル定着）

貫通固定方式は、斜材を塔で偏向することにより塔に定着部を設けずに主桁のみで定着する構造で、エクストラード橋の一部で採用されている。一般に斜材は、コンクリート内に二重管構造で配置されており、斜材の交換が可能となっているが、その区間の点検ができない構造となっている。点検にあたっては、サドル周辺の塔を目視点検する必要がある。サドル部コンクリートは、斜材半径方向に働く腹圧力によって割裂応力が発生している可能性があることに留意が必要である。近年は、サドルに類似した構造で分離定着とし、定着部を目視可能とした構造も開発されている。

6.2.2 主桁の斜材定着部

主桁の斜材定着部は、局部応力が発生する部位である。コンクリート構造の斜材定着部近傍に発生する局部応力



写真 - 4 損斐川橋の塔内部

表 - 4 塔と主桁の斜材定着部の点検種別ごとの点検項目および調査方法

部位・部材		点 検 項 目	点 検 方 法	点 検 種 別			
				初期点検	日常点検	定期点検	臨時点検
塔の定着部	コンクリート部材	ひび割れ、剥離（浮き）	目視また打音	○	○	○	△
		エフロレッセンス、漏水	目 視	○	—	○	△
	サドル部	ひび割れ、剥離（浮き）	目視また打音	○	○	○	△
		エフロレッセンス、漏水	目 視	○	—	○	△
	鋼部材	サドル端部のケーブルの変形	目 視	○	—	○	△
		変形、ボルト等のゆるみ・脱落	目視また打音	○	—	○	△
主桁の定着部	コンクリート部材	塗膜劣化、腐食	目 視	○	—	○	△
		ひび割れ、剥離（浮き）	目視また打音	○	○	○	△
	鋼部材	エフロレッセンス、漏水	目 視	○	—	○	△
		変形、ボルト等のゆるみ・脱落	目視また打音	○	—	○	△
	鋼部材	塗膜劣化、腐食	目 視	○	—	○	△
		疲労亀裂	目視または非破壊検査	—	—	△	△

○：実施項目、△：責任技術者の判断により必要に応じて実施する項目

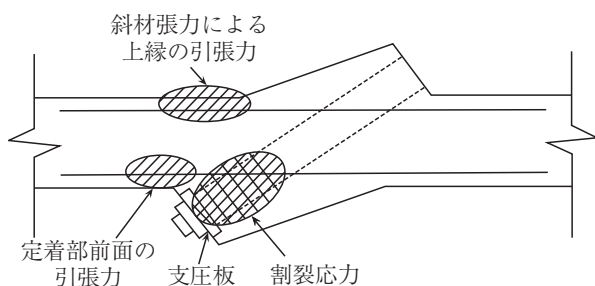


図 - 5 主桁の斜材定着部に生じる応力

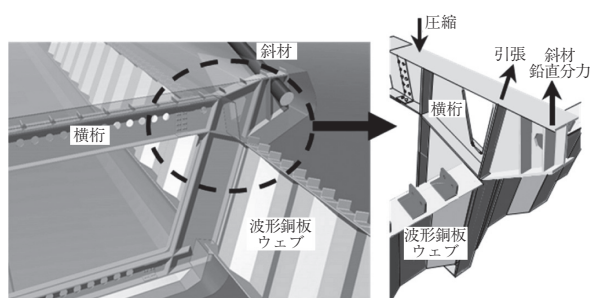


図 - 6 主桁の斜材定着部が鋼部材の例

は、図 - 5 に示すとおり支圧板背面の支圧応力や割裂応力のほかに、定着部近傍には偏心曲げなどによる局所的な引張応力が生じる。また、斜材張力が大きく押抜きせん断に対する検討が不十分な場合には、定着部近傍にひび割れが生じる可能性がある。

主桁を波形鋼板ウェブ箱桁構造などの複合構造とした斜張橋等においては、図 - 6 に示すとおり斜材定着部を鋼構造や複合構造としている場合もあるので、鋼部材の腐食や疲労による亀裂などの鋼構造としての調査が必要となる。

7. 性能の評価と対策の要否判定

7.1 斜材システム

本項においては、斜材システムの点検に基づく性能の評価と対策を、斜ケーブルの張力・振動、保護管の変状、斜材定着装置の変状、制振装置の変状について述べる。

(1) 斜ケーブルの張力

斜ケーブルは、供用時において破断や張力低下および主桁などの変状を発生させない機能を有する必要がある。このため、供用時の張力の最大値および最小値を制限する必要がある。国内では一般に、斜張橋は供用時の張力を引張強度の40%以下に、エクストラロード橋は引張強度の60%以下とする設計が行われている。したがって、点検による張力計測結果が設計時に設定された値を超える場合は、十分な検討が必要となる。張力の最小値については、張力の低下により主桁などのひび割れやその他の変状を発生させない値を算定し、これを限界値として性能の評価を行う必要がある。斜材の張力が前述の限界値を超える場合は、斜ケーブルの破断や定着具の変状のおそれがあるので、詳細調査を実施しその原因を明らかにする必要がある。調査結果から必要に応じて、斜ケーブルの再緊張や交換などの対策を講じるものとする。

斜ケーブルの定期点検間の張力変動については、張力測定誤差が現状では一般に数パーセントあることなどから、前述の張力の最大値と最小値との範囲にありかつ前回の計測値との差が10%程度以上の場合は、詳細な検討が必要になるものと思料される。

(2) 斜ケーブルの振動

斜ケーブルは、自動車荷重により発生する軸応力の変動に対しては、疲労試験などによりその疲労に対する安全性が確認されているが、風などによる振動により発生する曲げ疲労（定着部近傍の角変化）に対しては、制振装置により一定の振幅以下に抑制する必要がある。したがって、振幅が対象橋梁の限界値を超えた振動が確認された場合は、速やかに制振装置の健全性の調査を行うとともに、必要に応じて制振装置の交換などの検討を行う必要がある。

(3) 保護管の変状

保護管に損傷や変形があった場合は、必要に応じて以下に述べる対策を講じる必要がある。

一般に保護管に使用されているポリエチレン被覆の補修は、損傷程度に応じて行う必要がある。表面の損傷が浅い場合は、切欠き底部をサンドペーパーなどで滑らかに仕上げ、損傷部周囲の突出部は削り取り、滑らかに仕上げる。表面の損傷が深く、ポリエチレン被覆の厚みを確保する必要がある場合は、被覆と同一材料の溶接棒を用いて損傷部の溶接、肉盛を行う。損傷部のポリエチレン被覆の厚み、外観および寸法を考慮して補修方法を選定する。損傷部の被覆が大きく変形した場合、もしくは、むしりとられた場合は、損傷部を切り取り、切り取った部分に二つ割りのポリエチレン管を被せ、同一材料の溶接棒を用いて溶接、肉盛を行う。なお、溶接部の保護のために、補修箇所の上にカバーを取り付ける場合もある。

(4) 斜材定着装置の変状

斜材定着装置の腐食がある場合は速やかに防錆処理を行う。亀裂や変形がある場合は、斜ケーブルが抜け出したり張力が低下したりするおそれがあるので、速やかに補修または交換を行う必要がある。水分の侵入がみられる場合は、水分が侵入した経路を調査して侵入しない対策を講じるとともに、水分を排出する必要がある。

(5) 制振装置の変状

装置の損傷、変形、さび、粘性体の漏れ（オイルダンパー、粘性せん断ダンパー）、高減衰ゴムの破損や劣化（高減衰ゴムダンパー）があった場合は、斜ケーブルの疲労に影響を与えるので、速やかに補修または交換を行う必要がある。

7.2 塔の斜材定着部

本項においては、塔の斜材定着部の点検に基づく性能の評価と対策について、定着方式ごとに以下に述べる。

(1) 分離固定方式

コンクリート部材に変状（ひび割れ、剥離など）がみられる場合は、他のコンクリート部材と同様な性能の評価を行い、必要に応じて補修・補強を行う。鋼部材に変状（塗膜劣化、腐食など）がみられる場合は、他の鋼部材と同様な性能の評価を行い、必要に応じて補修・補強を行う。変状

の発生要因が斜材張力に起因すると想定される場合は、その原因を検討し補修・補強を行う必要がある。

(2) 貫通固定方式 (サドル定着)

コンクリート部材に関しては、分離固定方式と同様な性能の評価と対策を行う。サドル端部にケーブルのずれが発生している場合は、サドル内の斜ケーブルの張力を固定している部材が変状しているおそれがあるので、発生原因を調査して補修・補強を行う。

7.3 主桁の斜材定着部

斜材定着部が、図 - 5 に示したコンクリート構造で、コンクリート部材に定期点検時に新たなひび割れなどの変状が発生している場合は、斜材に過大な張力が発生しているおそれがあるので、安全性の確保から十分な検討が必要である。ひび割れについては、耐久性を確保するため必要に応じて補修を行う必要がある。

斜材定着部が、図 - 6 に示した鋼構造で、鋼部材に亀裂が発生している場合は、斜材に過大な張力が発生したか張力変動による疲労の可能性があるため、安全性の確保から十分な検討が必要である。塗膜の劣化や腐食が確認された場合は、耐久性を確保するため必要に応じて補修を行う必要がある。

8. 斜材システムと定着部の維持管理の課題

本文では、斜材システムとその定着部の維持管理方法の検討結果を示したが、斜張橋等を適切に維持管理するために実務においては以下に示す課題がある。

- 1) 斜材システムは、建設時期や設計施工条件によっていろいろな種類のものを使用されているため、当該橋梁の斜材システムの構造や特性を理解する必要がある。
- 2) 比較的古い時期に施工された橋梁は、斜ケーブルの防錆が経年劣化により変状している恐れが高いため、過去の事例も参考に十分な点検を行う必要がある。
- 3) 塔および主桁の斜材定着部は、さまざまな構造が採用されているため、当該橋梁の構造や特性を理解する必要がある。
- 4) 斜ケーブルの張力については、建設時には十分な品質管理が実施されているが、供用後の維持管理においては、定期的に計測している事例が少ない。したがって、今後は、斜ケーブルの張力を定期的に計測して適切な診断を行う必要がある。
- 5) 維持管理にあたっては、詳細な知識が必要となるので、維持管理者は、本文や既往の研究成果などを参考に維持管理方法を詳細に規定した規準を早期に整備する必要がある。

必要がある。

- 6) 図 - 3 に示した維持管理の手順を確実に履行し、ライフサイクルコストの削減を行うことができる維持管理技術者の育成を図る必要がある。
- 7) 斜材システムを構成する斜ケーブルの鋼材および定着具内部は、目視することが不可能であるため、本文で紹介した非破壊検査機器も参考に、効率的な点検が可能な非破壊検査機器を活用する必要がある。

9. おわりに

斜材システムと塔および主桁の定着部を構成する部位・部材は、設計供用期間中に機能を確保できる性能を有している必要がある。斜張橋やエクストラード橋は、桁橋などのほかの構造形式に比べて支間長が長い大規模橋梁が多く、劣化や損傷による事故の発生や大規模修繕に伴う通行規制などによる社会的影響が大きくなるため、維持管理の重要性は高い。しかし、桁や塔などのコンクリートや鋼部材の維持管理手法が一般に認知されているのに対し、斜張橋やエクストラード橋にとって非常に重要な構成部材である斜材システムと塔および主桁の定着部の維持管理手法は十分に確立されているとはいえない状況である。

国内のコンクリート構造およびコンクリート構造と鋼構造の複合構造の斜張橋やエクストラード橋は、300 橋を超えるものと推定される。今後は、これらの橋梁を、効率的に維持管理して高耐久化を図る必要がある。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：PC 斜張橋・エクストラード橋維持管理指針，2011
- 2) プレストレストコンクリート技術協会：コンクリート構造設計施工規準－性能創造型設計－，2011
- 3) プレストレストコンクリート工学会：PC 構造物高耐久化ガイドライン，2015
- 4) 酒井秀昭，白濱昭二，細居清剛：斜材システムの維持管理に関する現状と今後の課題，プレストレストコンクリート，vol.58，No.5，pp.18-25，2016
- 5) 河村 睦，奥村敏弘，細居清剛，堀井智紀：高次振動法による PC 外ケーブルの張力測定，プレストレストコンクリート，vol.56，No.6，pp.41-46，2014
- 6) 村上琢哉：橋梁ケーブルの制振対策，日本風工学会誌，Vol.37，No.4，pp.315-320，2012

【2017 年 3 月 29 日受付】