

小規模吊橋等の点検に関する管理者のための 参考資料(案)

V e r . 1 . 0

暫定版



平成 28 年 3 月

四国地方整備局 道路部

国土技術政策総合研究所 橋梁研究室

おおど
写真 大渡ダム大橋

「大渡ダム大橋」は、大渡ダム建設に伴い、建設省四国地方建設局（当時）が建設した、単純補剛トラス吊橋（中央径間 240m）を有する橋長 444m の橋梁であり、昭和 59 年 1 月に供用開始し、現在は高知県仁淀川町にて管理されています。

平成 26 年 9 月より直轄診断を実施し、平成 27 年度より修繕代行を行っています。

道路メンテナンス技術集団による直轄診断	地元小学生に職員手作り模型の吊り橋とパネルを使って大渡ダム大橋の説明
橋梁修繕研修会での損傷状況の説明	地元小学生によるアンカレイジの見学

目 次

まえがき

1. 本資料の利用に際して	1
2. 吊橋の特徴と部材の名称	1
3. ケーブルシステム	3
4. アンカレッジ	7
5. 塔	11
6. サドル	15
7. 主ケーブル	16
8. ケーブルバンド	20
9. ハンガーシステム	22
10. その他	28

付録

現場に学ぶメンテナンス（抜粋）

まえがき

全国には 800 橋以上の吊橋が架けられている（2015 年時点）。吊橋のような吊り形式の橋梁は一般的な桁橋やトラス橋、アーチ橋と構造的特徴に相違点が多く、点検や補修補強の判断などの維持管理を適切に行うためには吊橋特有の構造や損傷形式を踏まえることが重要となる。

一方、既存の吊橋の大半は市町村の管理となっており、さらに建設当初とは管理者が異なっていることもあるなど、設計や施工に関する記録や過去の補修補強の履歴が十分に残されていない場合もある。加えて小規模な吊橋では設計方法や使用材料、細部構造の形式などもそれぞれの架橋条件や時代背景に合わせて多岐多様にわたっており、これらに対する技術情報が体系的にとりまとめられていない。このような状況は、比較的小規模の吊橋の現在の管理者にとって、保全計画の策定や点検や調査から得られる情報の解釈、それらを踏まえた構造安全性の評価や措置の意思決定を技術的に困難なものとしていることが想定される。

既設の小規模な吊橋も高齢化が進んでおり、近年になって様々な不具合や事故の事例が報告されている。例えば、2012 年には供用後 56 年が経過した橋長 139m の吊橋で主ケーブルのロープが腐食により破断する事故が発生した。また 2015 年には供用後 52 年が経過した橋長 136m の吊橋で鋼製のハンガーロッドが破断して通行止めを余儀なくされた。さらに同年には他の吊橋でも主ケーブルの素線の一部が腐食により破断していることが確認されている。

吊橋のような吊形式橋梁では、一般に吊材が構造上極めて重要な役割を担っており、吊材本体およびその定着部や接合部での不具合や損傷は橋全体に致命的な悪影響を及ぼすことが多く、条件によっては突然の全橋崩壊に至る危険性すらある。一方でこのような重要な役割を担っているケーブル等の吊材は腐食による劣化を防止するために厳重な防食システムで防護されていることが一般であり吊材本体の状態を外観だけで判断することが困難な場合も多く、構造や防食仕様なども考慮して外観から得られる情報を最大限活用して内部の状態を推定したり、非破壊検査の実施や防食システム等の一部除去などのさらなる詳細調査の必要性やその方法をする必要がある。

さらに、吊橋には、主ケーブルとハンガーの接合部や主ケーブルのアンカー定着部、サドル部など吊形式橋梁以外にはない特殊な構造も多く用いられており、それらに生じ得る健全性に関わる事象にもまた、一般的形式の橋梁に対する知見だけでは適切に判断することが難しいものも多くある。

このような状況を踏まえ、国土交通省四国地方整備局道路部と国土技術政策総合研究所橋梁研究室では、道路管理者が比較的小規模な吊橋の維持管理を行う上での参考となることを目的に、これまでの事故や損傷などの事例等の情報や既存吊形式橋梁の構造例、点検や調査における留意点などを取りまとめた。

なお、吊橋では、それぞれの橋毎に設計内容や構造形式なども多岐にわたることから、本資料で示した事例や留意点があるままそれぞれの橋に当てはまるとは限らないことから、参考にするにあたっては本資料の記述内容が当該橋にとってどのような意味を持つのかについては都度慎重に判断しなければならない。

本資料の作成にあたっては、多くの道路管理者から提供をいただいた資料を活用させて頂いた。それぞれの管理者に深く感謝の意を表す。また、資料中の記述はあくまで本書の目的に照らして執筆者の判断で行ったものであり、参照されている橋と直接的な関連性がない場合もあることを断っておく。

1. 本資料の利用に際して

本資料は、管理者から寄せられた吊橋等の事故や損傷等の情報を基に、維持管理の参考となる事例や方法、構造などを収集したものである。

吊橋によっては、本資料の記述がそのまま適用出来ない場合もあるため、それぞれの橋の実際の維持管理では本資料を参考としつつも、当該橋固有の条件を十分に考慮して適切な対応となるようにしなければならない。固有の条件の主なものには架橋地の地理的地形的条件、環境条件、設計思想および設計手法、使用材料、部材等の形式、細部構造の形式、防食等の仕様、過去の補修や補強の履歴、劣化や損傷の進展状況などがある。

2. 吊橋の特徴と部材の名称

吊橋は、主桁部分を両側に設けた主塔に張り渡したケーブルから懸垂する形式の橋梁であり、主塔を除く上部構造の死荷重および上部構造に作用する様々な荷重の大半をケーブルシステムの張力によって主塔および両端に設けられる主ケーブル定着部に伝達する構造である。このように柔な主ケーブルが主たる耐荷構造を担う構造的特徴から、風や地震、自動車荷重の载荷によって揺れや振動を生じやすいことが大きな特徴であり、規模の大きな吊橋では現在では図-1に示すように、耐風安定性や耐震性について風洞実験や動的応答解析などの高度な設計検討が行われることが一般的である。一方、規模が小さい吊橋や過去に建設された吊橋では大規模な風洞実験や動的解析を用いるような精緻な耐震性の検討は行われていないものが大半であるが、揺れや振動が構造安全性や部材条件によっては疲労耐久性が問題となりやすくなるという吊橋としての基本的な特徴は共通している。またケーブルシステムに用いられる部材の構造形式は類似点も多いため、規模によらず他の吊橋の事例についても出来るだけ情報を把握して、維持管理の参考にするのがよい。

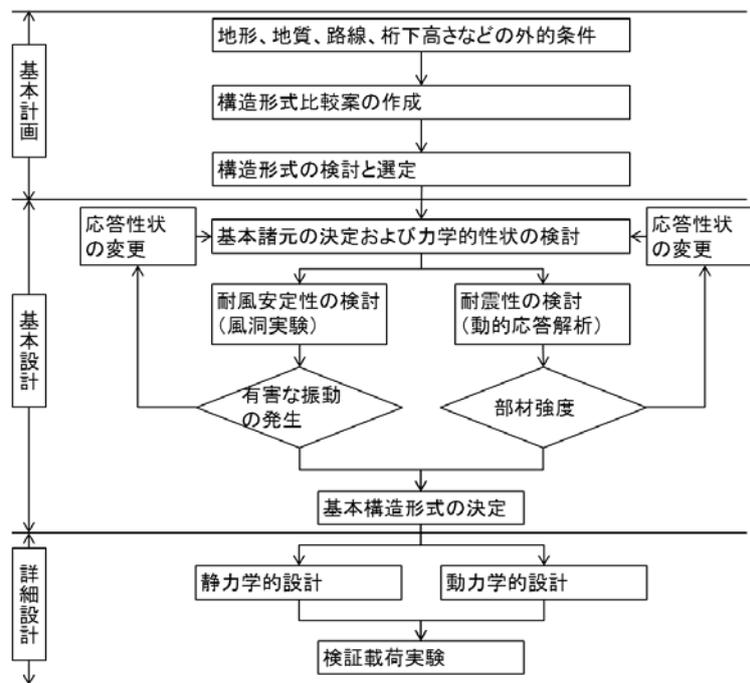


図-1 吊り橋の設計の流れ（規模が大きい場合）

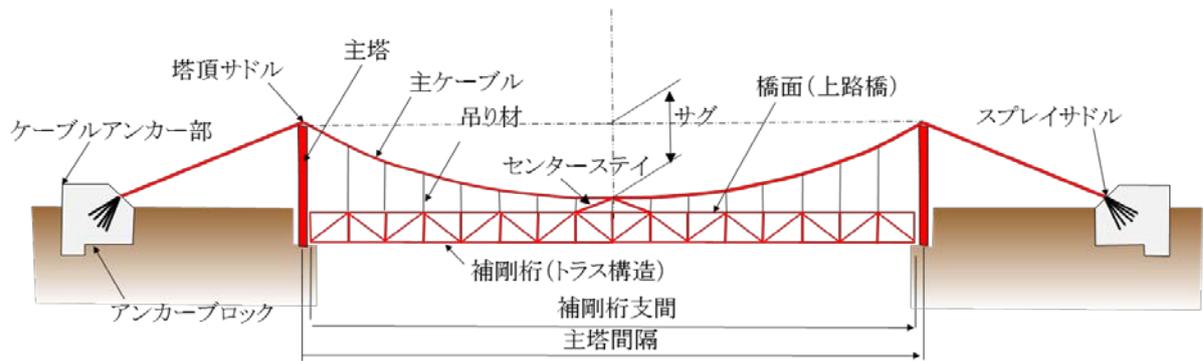
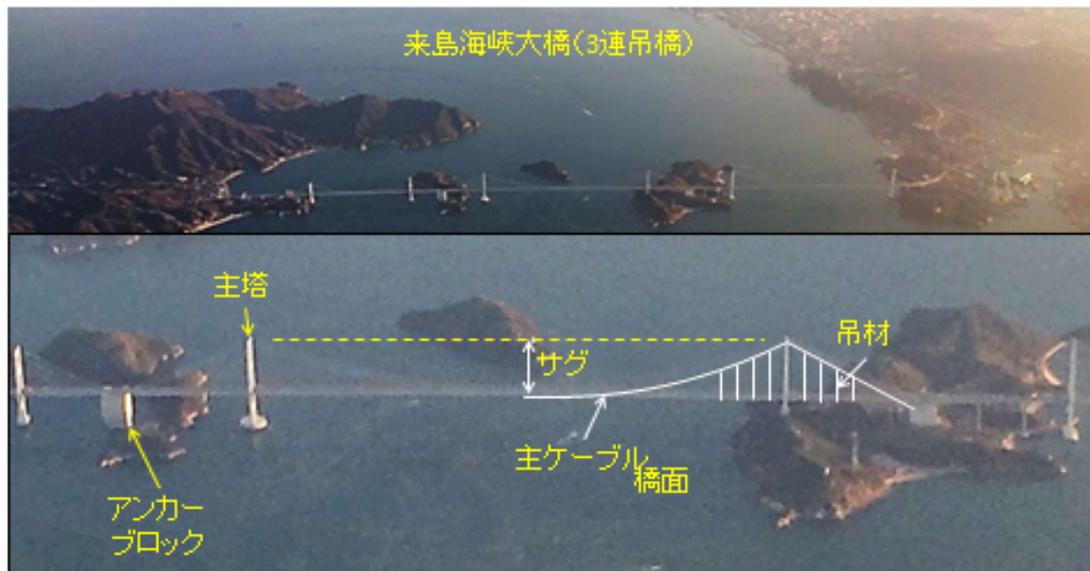


図-2 吊り橋の各部材の名称

■ポイント 吊り橋の各部名称



■吊り橋の特徴

- 桁橋などよりも、基本的に剛性は小さい、振動(揺れ、変形)が生じやすい
- ・風 ……水平変位、振動
 - ・地震 ……振動
 - ・活荷重 ……たわみ、振動

3. ケーブルシステム

主ケーブルのように水平に張り渡したロープは、自重のみでは懸垂曲線という曲線形状となり、全長に渡って均等に荷重が载荷されると放物線形状となる。そのため吊橋の場合には、架設時の桁がまだつり下げられていない場合には懸垂曲線であったものが、桁がつり下げられて行くにつれてつり下げられた重さによって単純にたわみが増加するだけでなく、ケーブル形状も放物線への移行している。このように吊橋では架設時に複雑に形状が変化することから、計画した完成形状とするために詳細に架設手順が計画されており、完成時の部材の応力状態や橋全体の形状は架設方法によっても異なる場合があるため、維持管理にあたっては当該橋が竣工時点でどのような形状や応力状態として完成していたのかを把握することが健全性の診断にも役に立つこともある。

吊橋の主ケーブルは張力が大きくなると垂れ量（水平に対する下がり量を「サグ」という）が大きくなるとともに、ケーブル自体が負荷される荷重に対して変形しやすくなるため橋全体の剛性も小さくなる傾向がある。逆に、主ケーブルの張力が大きくなると垂れ量は小さくなり、ケーブルに新たな荷重が加わった場合の変形が小さく抑えられるため橋全体としての剛性も大きくなっていく。

橋全体の剛性が小さいと、剛性が大きい場合に比べて一般には橋全体が揺れやすい傾向を持つが、桁の剛性や橋の規模、ケーブルの形式などによっても実際の揺れやすさは影響を受けるため主ケーブルの張力のみで判断することは困難である。

このように、吊橋の性質は橋毎に様々な要因で複雑に決定づけられているが、以下にケーブルシステムに着目して一般的特徴を示す。

(1) 水平変位とその影響

主ケーブルには、桁やハンガーなどが受ける風荷重やそれに伴う桁やハンガーの水平方向の変位の影響が伝達される。しかし全体としては柔な主ケーブルに対してはこれらの影響による張力の増加やねじれの作用の影響は主ケーブルの能力に対して支配的となることは少ない。

ただし、桁に橋軸直角方向への水平変位を生じると、主ケーブルは塔頂部と橋台部では水平方向に位置が固定されているため、ハンガー材の主ケーブル側と桁側の定着部の位置が水平方向にずれ、その結果、ハンガー材の定着部に曲げを生じさせるような力が繰り返し作用することとなり、ハンガー材とその定着部では疲労が問題となることがある。

(2) たわみとその影響

活荷重の载荷によって主ケーブルには鉛直方向下向きの力が作用するためその影響がケーブルシステムの各部に及ぶこととなる。代表的な影響は次の通り。

- ・主ケーブルは塔頂部で自身の張力に起因する大きな下向きの力で塔頂部に押しつけられており、その摩擦力によって塔頂部で摩擦力によって滑らないように固定されている。そのため過大な鉛直力によって主ケーブルが引き込まれると塔頂部で主ケーブルに滑りが生じる恐れがある。（滑りが生じると塔間の主ケーブルの長さが変わってしまいケーブルシステム全体のバランスが崩れるなど橋全体に致命的な影響が及び危険性がある）

なお、規模が大きい吊橋では、主ケーブルに作用している張力の大半を自重を占めるため、活荷重が多少超過しても張力変化率は大きくなりたいため主ケーブルのサドル部での滑りは問題とならないが、規模が小さい吊橋では主ケーブルの断面に占める活荷重分の比率が大きくその変化の影響が問題となる可能性がある。

・桁を懸垂するための吊材（ハンガー材）は一般には主ケーブルにケーブルバンドや様々な形式のクリップなどにより摩擦力で抵抗するように固定されている。そのため過度な鉛直力によってハンガーが引張られることで定着部が滑ることが懸念される。

このときケーブルバンドなどの主ケーブルとの定着構造は、締め付けボルトのクリップや主ケーブルの張力変化等に伴う断面形状や断面積の微小な変化によって締め付け力（摩擦による抵抗力）が完成後低下していることがあるため注意が必要である。

・桁に作用する鉛直力に伴って主ケーブルのたわみが増加することは、ハンガー材やその定着部においては応力変動が繰り返されることを意味する。そのためハンガー材や定着部では疲労が問題となる可能性があるため注意が必要である。特にハンガー材やその定着部が様々な方向に可動できるように設計されている場合、腐食等によって可動機能が低下したり喪失していると、定着部やハンガー材の本体に想定外の繰り返し応力が作用することとなるため疲労破壊を生じることもあるため注意が必要である。

特に過去には、鋼製ロッド形式のハンガー材がねじ部で破断する事故も生じており、変動応力の繰り返しが原因であると考えられている。

■ポイント 吊橋の形状



- 柔な構造である吊橋では、全体の形状に異常が生じている場合には、部材の破断やケーブル定着部の異常など重大な異常の影響である可能性もある。
- 維持管理では、形状に注意することで異常の発見が行える場合もある

(3) 振動とその影響

吊橋で比較的生じやすい振動現象は風による振動である。風に起因する主な振動現象には次のものがある。

・渦励振（うずれいしん）

： 風が構造物に吹き付けた場合に、構造物周りに渦状の空気の流れが規則的に発生し、その影響で構造物が規則的な振動を生じるものである。

比較的低風速で乱れの少ない風のとときに渦が規則的に発生しやすいため、決まった方向から乱れの少ない風が吹きやすい地理的条件の場合には注意が必要である。また風が強くなると乱れが大きくなり渦励振は発生しにくく、低風速で

生じやすいことから条件が重なると年間に極めて高頻度で生じている可能性があるため渦励振が生じやすい条件であるかどうかには注意を払う必要がある。

なお、渦励振は渦の発生間隔が構造物の固有周期と一致することで構造物はその固有周期で振動するため、一旦振動するとその振動回数は膨大な数となるため疲労につながりやすいので注意が必要である。。

・発散振動

： 風の影響によって生じる構造物の振動振幅が徐々に発達して構造物を破壊するような規模にまで大きな振幅となる現象である。部材の形状を工夫したり、懸念のある部材や構造系の減衰性能を高める、部材や構造系の剛性を高めるなどの対策によって防止することが必要となる。

比較的規模の小さな吊橋では、減衰性能の付与や構造全体の剛性を高めることが難しい場合もあるが、ステイ材（主ケーブルと桁を斜めに連結するケーブルや棒部材）を設置したり、耐風索（桁を斜め下方向に引っ張ることで上方向に引張るハンガーと共同して桁の動きの抑制するためのケーブルシステム）を設けるなどの工夫がなされることが多い。

そのため、小規模な吊橋の点検や維持管理においては、ステイ材や耐風索の破断、腐食等による能力低下、弛緩による機能低下などが生じていないことを確認することが重要である。



図－3 耐風索の例（桁の右横に見える細い索が耐風索）



図-4 センターステイの例

■ポイント ステイシステム



センターステイでゆるみが見られる例

- 主ケーブルと桁を連結して動きを拘束する機構で、鋼製ロッド、ワイヤーが多い
- ステイの損傷(破断、ゆるみ)は耐風安定性の低下や各部の疲労耐久性の低下につながる可能性もある

風による以外に、地震によっても振動を生じるが地震による振動は繰り返し回数は少ないため、部材の疲労や振動の発散の懸念は少ないが、振動振幅が非常に大きくなることがあり部材そのものの応力超過による損傷や破壊、サドルやケーブルバンドなどの定着部での摩擦抵抗を上回る作用による滑り（ずれ）などが懸念される。

さらに、橋によっては車両通行に伴って振幅は小さいものの日常的に振動を生じる場合もある。そのような橋ではこの振動によって生じる応力変動の繰り返し回数の一部の部材では膨大な数になるため疲労に対する注意が必要である。

例えば、鋼製ロッドのねじ部やケーブルの定着金物の口元などでは部材の曲げによる疲労が問題となることがある。ねじ部や定着部の口元で部材の曲げによって生じる応力は形状に起因する局部応力であり、曲げの程度が小さくても局部に発生している応力は極めて大きなものがあり注意が必要である。

■ポイント 吊材に生じる繰り返し応力の影響



→鋼製ロッドでは、長さ(張力)調節などのために、ねじ部のあることが多く、応力集中による亀裂が生じやすい

- ・原因は、疲労、腐食、応力腐食割れなど様々
- ・風や活荷重による振動、応力変動がある場合はリスクが高い
- ・定着部の回転機能が損なわれている場合はリスクが増大
- ・防食機能の低下(腐食)を生じているとリスクが大きい

4. アンカレッジ

(1) 構造と特徴

アンカレッジは、主ケーブルの水平張力の全てを負担する重要な部材である。主な構造は、以下のようなものがある。

構造	特徴
重力式	大規模橋梁で一般的に使用されることが多い
半重力式	重力式+埋め込み地盤抵抗を考慮する構造
トンネル式	アンカーフレームを埋設するなど地山による抵抗を期待

いずれの場合も、橋の性能に影響を与えないよう、弱点部に対して慎重に点検することが重要となる。例えば、コンクリートに引張力が生じる場合の橋の性能への影響や、スプレー部の環境条件とケーブルやアンカーフレームの防食仕様の適合性、また、変位を計測し、橋全体の応力や安定に致命的な影響を与えていないか注意が必要である。

また、大規模吊り橋のアンカレッジでは、アンカーフレームの大半は、コンクリートに埋め込まれ、ケーブルは、ある単位毎にアンカーフレームに分担させて定着される。

一方、小規模な吊り橋では、スプレー室やスプレーサドルがなく、直接地山と一体となった構造のケースもある。アンカーフレームが露出している場合は、風雨の影響を直接受けたり、土砂の堆積等によって遠方からでは十分確認できない場合もあり、より慎重に確認する必要がある。その際には、アンカーの構造や腐食の状況などを記録するのが良い。

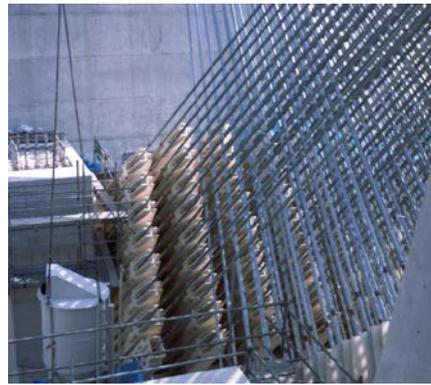


図-5 建屋内に設置された大規模吊り橋のアンカレッジの定着部



図-6 屋外に暴露されている定着部の例
(アンカレッジは背後のコンクリート)

(2) 維持管理の着眼点

①アンカーの健全性

少なくとも外観出来る部位については、詳細に確認し、鋼材の腐食や亀裂、あるいは断面欠損の有無などを慎重に確認する必要がある。またアンカーシステムの一部がコンクリートや地山に埋め込まれている場合も多いが、埋め込まれた内部の状況についても異常の徴候を調査するなどにより推定しなければならない。

また、アンカレッジは橋台の一種でもあり本体そのものが不安定になっていたり、異常な変位を生じると橋全体の安全性を大きく損なうことになるため、洗掘や地滑り、地震の影響による変位の有無や兆候に着眼し、アンカー本体のみならず周囲の地山や護岸にも注意を払うのがよい。



図-7 地山に埋設されたケーブル定着部

②駆体の健全性

コンクリートのひび割れや、鉄筋の腐食などを確認するとともに、ケーブルの

抜け出しがないか、埋設部や地際での腐食の有無についても確認することで、駆体の健全性を確認出来る可能性が高い。

③ケーブルシステムの健全性

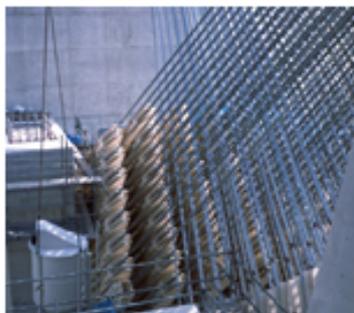
ケーブルや定着部の表面や内部の防食機能や腐食の状態を確認するとともに、アンカレッジ内部の雨水や結露の状況などの環境についても確認すると良い。

④アンカレッジの定着部

定着部は、吊り橋の構造安全上、健全性を維持することが極めて重要であり、埋め込みの内部を含めた定着部全体の異常の有無や兆候を確認する必要がある。

例えば、鋼材の腐食やボルトの緩み、きれつその他、コンクリートでは、ひび割れ、さび汁、遊離石灰、漏水について確認する必要がある。また、地滑りやケーブルの抜けだしなどは重点的に確認する必要がある。

■ポイント アンカレッジ



→ 主ケーブルの水平張力の全てを負担する特に重要な構造物であるが、定着部や構造本体が地盤に埋め込まれている場合があるなど点検しにくい場所にある場合がある。

→ 建屋内に定着部が格納されていても結露などで腐食することもあり、構造や形式によらず、慎重に状態を確認する必要がある

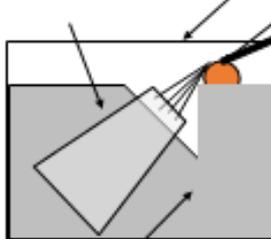
■ポイント アンカレッジ部のケーブル定着構造



- 定着部には様々な種類があり、外観出来る範囲や状況も千差万別である。
 少なくとも外観出来る範囲で異常やその徴候、可能性について慎重に判断するとともに、
 必要に応じて外観出来ない部位の調査も検討する必要がある。
- ・鋼材………腐食、ボルト等の緩み、亀裂
 - ・コンクリート……ひびわれ、錆汁、遊離石灰、漏水
 - ・地盤・地山……地滑り、不安定、ケーブルの抜けだし

■ポイント 主ケーブル定着部の構造の例

アンカーフレーム スプレー室 スプレーサドル



コンクリート
 (アンカレッジ本体)



→ アンカレッジ部には、サドル、アンカーフレーム、スプレー室などがあり、その構成は橋毎に異なる。

→ 点検では、構造や防食システムをよく理解して健全性の診断を行わなければならない

5. 塔

(1) 構造と特徴

塔は、主ケーブルのサグを確保するとともに、鉛直荷重の全てとケーブルサドルからの水平力負担する構造体である。

鉛直力への抵抗としては柱部材として抵抗することとなり、細長い部材に大きな圧縮力が働くという状況から座屈耐荷力が支配的な課題となりやすい。

棒状の部材の座屈耐荷力には、部材が真っ直ぐであることが特に重要であり、変形や偏心によって安全性が極端に低下する現象であるため塔柱では鉛直性と塔壁などに断面欠損などのないことが重要となる。

水平力に対しては、塔基部がピン結合で回転できる構造となっているか、全方向固定構造となっているのかによって抵抗の状況が異なってくる。

塔基部がピンなどで自由に回転出来る場合には、塔柱には大きな曲げは発生しないが、基部で回転も拘束されている完全固定の場合には塔は基部を固定端とする片持梁となるため塔基部で最大となる大きな曲げ応力が塔柱に発生することとなる。

またいずれの場合も、水平力は塔基部で抵抗することとなるため基部に設けられる支承や定着部（アンカー部）は大きな水平力に抵抗することとなり、水平力に抵抗する部材や部品の健全性は重要な着目事項である。

塔が鋼製の場合、鋼製橋脚同様に溶接品質の確保が困難な溶接部が多数ある構造となるため、溶接部からの亀裂の発生には注意が必要である。

さらに、接合部においては、腐食による断面減少やボルトの遅れ破壊にも注意が必要である。



図-8 基部がピン構造の塔の例

■ポイント 塔の構造



→ 吊橋の主塔は主ケーブルからの大きな鉛直力と水平力に抵抗する重要な部材であるが、その構造には多様な種類があるため、健全性の診断では構造や各部の働きについて確認したうえで慎重に判断しなければならない。

→ 圧縮力が卓越するため、座屈耐荷力が損なわれていないかどうかは最重要着目事項であり、柱本体の傾斜や変形、基礎の安定、地盤、周辺地山の安定などに注意が必要である。

(2) 維持管理の着眼点

①塔柱の耐荷力

変形や傾斜、腐食等による断面減少、ボルトの抜け・ゆるみ・破断・きれつ等接合部の異常は耐荷力が低下する要因となる可能性あり、注意が必要である。

②溶接部のきれつ

溶接部では塗膜割れや腐食が確認された場合は、きれつの疑いがあるが、防食機能が劣化している場合には、目視だけで確認することが難しくきれつ調査を行うのが良い。また、きれつは鋼製橋脚の隅角部に類似していることから、参考にすると良い。

③接合部の腐食

接合部の腐食はボルトの遅れ破壊の要因となる可能性がある。

④塔柱の溶接部

複雑な溶接構造が多用されており、きれつの発生に注意しながら特に溶接線の確認が必要である。

例えば、比較的小さな断面を溶接構造で製作しているため、品質確保が難しい溶接部から深刻な亀裂の発生が多く報告された鋼製橋脚隅角部と同様に溶接線が交差する隅角部では亀裂に注意が必要である。

また、外観形状のためだけに低品質の溶接で化粧板が取り付けられていたり、架設時の吊りピースが残されていたり亀裂の発生しやすい溶接を有するものも多く全ての溶接線を慎重に点検する必要がある。



(左：化粧板のある隅角部、右：隅角部からの錆汁)



(架設材の撤去跡（溶接部であり亀裂着目部位となる）)

図-9 塔柱にみられる鋼製橋脚に類似の隅角部の例

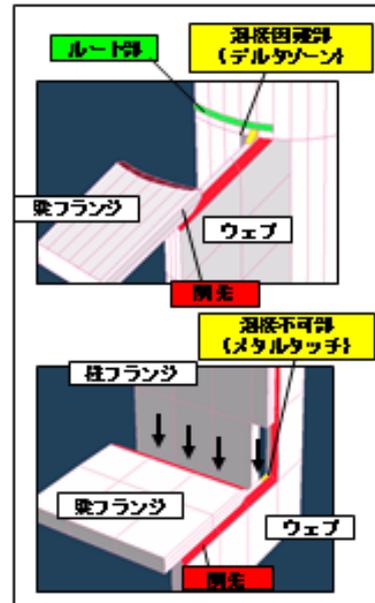
⑤その他

内部の滞水は腐食が進行し、断面減少に伴いきれつを誘発したり遅れ破壊を誘発する可能性がある。



図-10 塔柱基部水抜きからの漏水（内部の滞水が懸念される）

■ポイント 鋼製橋脚隅角部



→ 溶接線が交差する鋼製橋脚の隅角部では、溶接品質の確保が難しく、過去から様々な亀裂が発見されている。亀裂は構造本体のどこに伸びるかわからないため早期発見と適切な措置が極めて重要な深刻な損傷形態である

6. サドル

(1) サドル部の滑り抵抗

吊橋の頂上サドルでは、ケーブル張力による押しつけで滑り抵抗を確保し、ケーブル位置を保持する。ただし、小規模な吊橋では主ケーブル自体の押しつけ力が必要な摩擦力を得るのに不足するため、プレートによって上から締め付けて押しつけ力を補強している場合もある。いずれにしても、塔頂サドル部でケーブルが滑ると径間のケーブル長さが変わるため橋全体に致命的な悪影響を及ぼすこととなるため、ボルトの緩みやプレートの異常、抜けだし痕が無いかなどに注意する必要がある。

またサドル内部は直接視認出来ないことが多く、内部やサドル出入口付近で主ケーブルに腐食が生じていないか慎重に確認する必要がある。



図-11 塔頂サドルの例

■ポイント 主ケーブルの破断事故の例



→ 主ケーブルの一部が破断した結果、塔頂サドル前後に大きな張力差が生じた結果、塔頂サドル上でケーブルが滑って抜け出しを生じた例である。

本例では、6本のケーブルからなる主ケーブルの内、腐食により破断した1本のみが滑ったものの、他のケーブルに異常が生じなかったため落橋などの致命的な事態は回避された。

7. 主ケーブル

(1) ケーブルの種類と安全率

吊橋の主ケーブルには様々な種類のケーブルが用いられている。



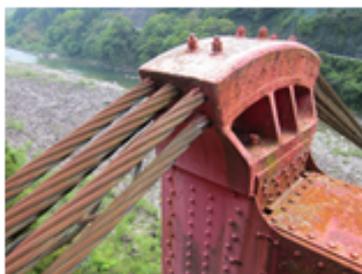
図-12 ケーブルの例（より線ワイヤー、ロックドコイル、平行線）

ケーブルには様々な種類が使われており、種類毎に機械的性質や安全率、防食仕様なども同じでない。また過去に建設された吊橋では現在は一般に用いられていない種類のケーブルが用いられていたり、現在では吊橋以外の用途でしか用いられない種類のケーブルが使われていることもあり、点検にあたってはケーブルの種類を特定してその特性や構造を把握した上で健全性に関わる異常やその徴候を的確に判断しなければならない。

近年の道路橋のケーブルで用いられている安全率の例を以下に示すが、過去に架設された橋の安全率は現在のものと同じでないこともあり注意が必要である。

部 材		安全率
ケーブル	吊り橋	3. 0
	斜張橋	2. 5
ハンガー	直線部	3. 5
	曲線部	4. 0

■ポイント 主ケーブルの種類



より線ワイヤ
(塗装、メッキ)



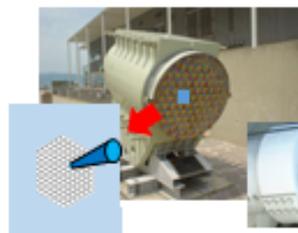
より線ワイヤー
(メッキ)



ロックドコイル
(メッキ)



より線ワイヤ
(メッキ+被覆ワイヤ+塗装)



大規模吊橋では特殊な平行線
ケーブル+送気システムなど



→ 主ケーブルには様々な種類の材料や構造があり、安全率や防食仕様も同じでないため、管理している橋毎に構造や仕様を確認して点検しなければならない。

(3) ケーブルの防食

吊橋で最も重要な役割を担っているともいえる主ケーブルの防食は橋全体の健全性維持のために極めて重要である。

防食仕様には、様々な種類があるが、ケーブル種類によらず基本的には数多くの素線が束ねられて使われており、それぞれの素線は亜鉛メッキで防食されていることが多い。

亜鉛メッキは初期には表面に形成される緻密な酸化物によって防食効果を発揮するが、経年とともに亜鉛メッキは徐々に失われ次第に亜鉛と鉄の合金層や鉄素地が現れてくることとなる。しかし亜鉛が残っていると犠牲防食効果により亜鉛が消耗して素線の母材である鉄本体の腐食は抑制される。そのため亜鉛の消耗が進んで表面に錆色がみられるようになっても素線には有害な断面減少は直ぐには生じないことが多い。その後亜鉛がさらに喪失すると防食機能がほぼ喪失して急速に素線の腐食が進行することとなるため、素線の防食機構の変化を的確に評価して予防保全可能な段階で防食機能の回復を図ることが重要である。

なお、複数の素線が束ねられているケーブルの内部の腐食などの異常を外観のみで正確に判断することは困難であり、表面の腐食状況、内部からの錆汁の漏出、防錆油の劣化や消耗の状況など外観から得られる様々な情報を総合的に判断して外観出来ない内部の状況も推定しなければならない。

大断面の主ケーブルでは、束ねた素線の表面に鋼製のワイヤ（ラッピングワイヤ）を巻き付けて、その上から塗装などの防食が施されている場合がある。この場合にはラッピングワイヤを一部撤去しない限り、下にあるケーブル本体を視認することはできないため特に慎重にラッピングワイヤの健全性の確認と、ラッピングワイヤ表面に内部の異常を示す徴候がないかどうかの確認を慎重に行わなければならない。

仮に、主ケーブル内部の異常が疑われた場合には、非破壊検査技術で適用可能な技術がないか確認するとともに、必要に応じてラッピングワイヤの一部撤去やワイヤにくさびを打ち込んで内部を直接目視により確認することも検討する必要がある。



図-13 防錆剤が劣化して防食機能が喪失していると疑われるたケーブルの例



図-14 メッキの消耗が進行しているケーブルの例

■ポイント 主ケーブルの防食「仕様と腐食



防錆システムが劣化した定着部



局部腐食（孔食）のある主ケーブル



防食ワイヤの塗膜劣化



バンド部でのコーキングの劣化

→ 索線を束ねて形成されている主ケーブルでは表層に様々な防食が施されているため、索線そのものの状態や内部の索線の状態を確認することが困難な場合がほとんどであり、詳細調査の実施も視野に慎重に内部の状況を推測する必要がある。

■ポイント 主ケーブルの索線の破断



■ポイント 主ケーブルの防食システム内部での腐食



位置は同じでない



防食ワイヤー
内部での索線
の破断



→ ケーブルは、表面に特に嚴重な防食が行われているため、かえって内部の腐食などの異常が外観から見つけにくいことが多い。

→ 内部の異常が疑われる場合には、防食（防錆材、保護ワイヤーなど）を撤去して内部を確認することが必要な場合もある

8. ケーブルバンド

(1) 構造

ケーブルバンドは、主ケーブルにハンガーを取り付けるための接続部材で、一般には、バンドボルトの締め付け力による摩擦で固定されている。

バンドボルトの軸力が低下するなど、摩擦力が低下するとバンドと主ケーブルに滑りが生じて橋全体に重大な影響が及ぶこととなるため注意が必要である。

バンドボルトの軸力が低下する要因としては、例えばボルトのリラクゼーションやケーブルの素線のクリープ、ケーブル再配列に伴う空隙の縮小などがあるほか、ケーブルバンド締め付け後に荷重条件の変化によって張力を増大した場合などにも低下する可能性がある。特に大規模橋梁でケーブル径が太いほどリスクが大きくなり、増し締めが必要となることもあり、適切な管理を行うことが必要となる。ケーブルバンドのすべりに対する安全率は設計上は3～4以上を確保するように考えられていることが多いが、実際には施工のばらつきや束ねられるケーブルの空隙率の変化などの様々な不確実性があるため供用中は常にバンドの位置ずれが生じていないことを確認するとともに、締め付け力の低下の徴候がないか気をつける必要がある。



(2) 軸力の管理方法

軸力低下の確認方法としては、載荷状態でのボルト長と軸力開放状態のボルト長のひずみから軸力を算出することや、超音波により軸力管理することも行われている。



図-15 ケーブルバンドの軸力管理の様子

■参考 大型のケーブルバンドにおけるバンドボルトの軸力測定の実例(超音波軸力測定)



(3) ケーブルバンド部での主ケーブルの腐食

ケーブルバンドは主ケーブルに直接締め付けられることで摩擦力を発揮するため、ラッピングワイヤーのある主ケーブルでもケーブルバンド部のみはラッピングワイヤーがなく主ケーブルの素線は表面がむき出しになっている。

主ケーブルの表面が全て完全にケーブルバンド内面に密着してケーブルバンド内部への雨水の浸入がないとすればバンド部の主ケーブルが腐食することはないが、実際には、ケーブルバンド内面と主ケーブル表面には隙間があること、ケーブルバンド端部の止水が十分でなく雨水が内部まで到達することがあること、大断面のケーブルではケーブル内部に水分が存在することがあることなどから、ケーブルバンド部の素線が腐食することもある。

点検では、バンドの存在によりその内部の腐食状況を直接確認することは困難であるが、バンドの滑りやケーブル素線の破断は橋全体に深刻な悪影響を及ぼす可能性が高いことから錆汁の漏出など腐食が疑われる場合には、バンドを一時開放することも含め慎重に評価しなければならない。



図-16 ケーブルバンド部の端部付近で主ケーブルの素線が腐食により破断した例

■ポイント ケーブルバンド部の腐食



→ ケーブルバンドを開放し、素線の腐食を確認こともある
(仮バンドを設けてハンガーは一時的に他の位置に盛換えている。)

9. ハンガーシステム

(1) 構造及び使用材料

①桁を懸垂するための部材で、ケーブルバンドに取り付けた吊り材で、ケーブル類が用いられることが多いが、鋼製ロッドも用いられ、普通鋼材、鋳鋼、鍛鋼などが用いられている場合もある。

②鋼材の材質としては普通鋼材、合金鋼材（鋳鋼、鍛鋼）に分類され、材料の特徴は以下のとおりである。

<普通鋼材（SS、SM）>

圧延により製造され、一般には鋼板として供給される部材への加工は、溶接やボルトによる接合

<合金鋼材>

・鋳鋼（SC、SCM）

鋳型に溶けた鋼を注いで成形品を得る。

圧延では困難な、複雑な形状や肉厚の製品が製造可能炭素量が抑えられており鍛鋼より靱性に優れる。

・鍛鋼（SF）

圧延とハンマーによる鍛錬により、成形品を得る。

鍛錬によって内部組織が微細化し、機械的性質に優れる



図-17 様々なハンガーの例

(2) 損傷と損傷原因

鋼製ロッドの場合、長さや張力調整などのために、ねじ部のあることが多く、応力集中によるきれつが生じやすい。きれつの原因としては、疲労や腐食、応力腐食割れなど様々な要因が重なっている可能性があり、風や活荷重による振動、応力変動がある場合ほど、リスクが高くなる。特に、定着部などでピン構造などの回転機能が失われている場合には、曲げやねじれなどが作用し、ねじ部に大きな応力集中を生じることから破断リスクが高まる。また、防食機能の低下が生じている場合には腐食によって破断リスクは更に大きくなる。



図-18 腐食の進行程度や亀裂の有無の確認が難しい防食の劣化したねじ部の例



図-19 内部の腐食も疑われるケーブルタイプのハンガー表面の錆の例

過去にも腐食のみられる鋼製ロッドタイプのハンガーでねじ部での破断事故が複数報告されている。

(3) 着眼点

ハンガーは、雨水の流下・滞留によって厳しい腐食環境となることが多く、更に振動の繰り返しの影響を受け構造上の弱点となる可能性があり、点検時には以下の点に注意する必要がある。

- ① ワイヤーでは、表面の腐食状況を確認するにみならず内部の腐食の発生について

も注意が必要

- ② ソケットの口元などの定着部やターンバックルなどの接続部は、滞水の影響を受けやすく腐食しやすいため、注意が必要
- ③ ねじ部やピン部では外観目視が困難な場合もある。特に塗装が劣化し塗膜割れが発生している場合などはきれつなどの損傷を容易に発見することが難しくなる。

■ポイント 鋼製ロッド形式のハンガーの破断例



- 鋼製ロッドでは、長さ(張力)調節などのために、ねじ部のあることが多く、応力集中による亀裂が生じやすい
- ・原因は、疲労、腐食、応力腐食割れなど様々
 - ・風や活荷重による振動、応力変動がある場合はリスクが高い
 - ・定着部の回転機能が損なわれている場合にリスクが増大
 - ・防食機能の低下(腐食)を生じているとリスクが大きい

■ポイント ハンガーロープ内での腐食の例



→ 防食仕様によらず、ハンガー内部の腐食の有無について常に注意することが必要であり、深刻な腐食などの異常が疑われる場合には、詳細調査の実施についても検討するのがよい。

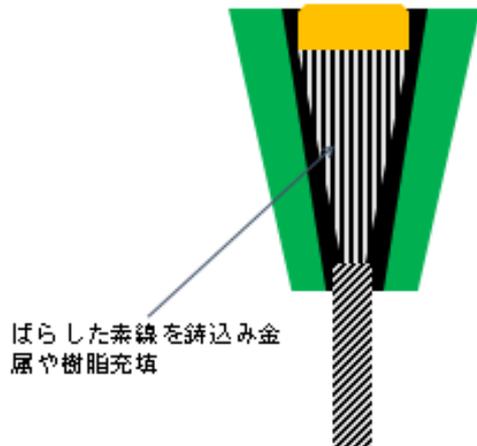
(4) 代表的な定着方法

①ソケット

ケーブルの定着方法としてソケットによる方法が用いられている場合がある。この定着方法は、ソケット内でばらした素線を鑄込み金属や樹脂充填によって固めて、コーキングや塗装で防食を行っているものである。

このため、防食機能の劣化により、ソケットやワイヤー内部に雨水が浸入し、腐食が進行することがある。

■ポイント ソケット定着部の代表的な構造の例



→ ソケット定着部は、内部に合金が鑄込まれているため防食上の弱点にはなりにくいですが、端部のコーキングが劣化したり、ソケット表面側から腐食が進行していくこともあるため、注意が必要である。

②ねじ、カップラー

ねじの構造により、長さ調節が可能となる構造であるが、締め込みで塗装が損傷したねじ部では防食の弱点となる可能性が高い。特に、ねじ部の防食機能の劣化により、腐食が発生した場合、口元やロッドなどの高い応力が生じるねじ部では亀裂が生じる弱点となるため、注意が必要である。



図-20 カップラーとねじの例

③クリップなど

小規模橋梁のハンガーや、耐風索などの定着部には、簡易なクリップ形式の接

合方式が用いられることがあるが、クリップは、正しく施工されていないと効率が著しく低下する。特にクリップの止め方については注意が必要である。

また、ケーブル端部に圧縮グリップが施工されている例も比較的良好にみられる構造である。グリップ部は弱点となりにくいですが、伝い水が滞留するなどケーブル一般部との境界部でケーブル側に腐食が進行することもあるので注意する必要がある。



図-21 クリップによる定着

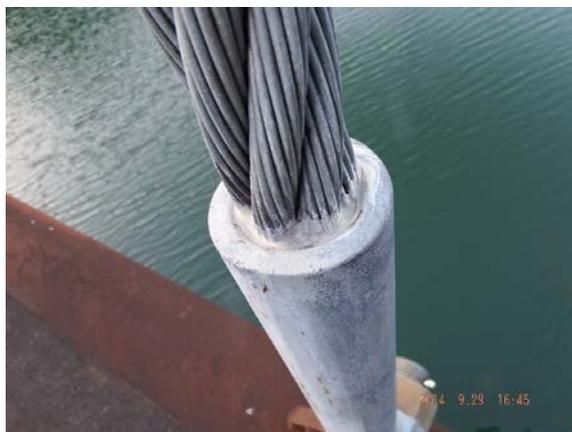


図-22 圧縮め方式の定着部の例

④ピン

ハンガー定着部は、ハンガーと桁の相対変位によって部材に過度な応力が発生しないようピンなど可動機構となっている場合がある。

特にハンガーが鋼製ロッドのように曲げ応力が加わるとねじ部で応力集中による疲労が問題となる形式や、ケーブルタイプのハンガーでも特に短尺のハンガーで定着ソケット口元の局部曲げを防止する必要がある場合などではピン定着となっていることが多い。

逆に、ケーブルタイプのハンガーである程度以上の長さがある場合には、ケーブル一般部が自由に曲げ変形出来るため定着部に過度な応力が発生しにくくピン定着されていないことも多い。

設計上可動することが期待されている定着部が腐食などで可動機能を喪失したり機能低下を生じると、設計で想定しない局部応力が生じる可能性があり、鋼製ロッドのねじ部やソケット定着部の口元のケーブル素線で疲労亀裂を生じる危険性もあるため注意が必要である。

また、桁側の定着構造（ピン定着の場合のピン孔をもうけた定着プレートや鋼製ロッドの定着部（定着金物が設けられていたり、溶接により補剛部材がとりつけられていることもある）は繰り返し応力が発生しやすいため、溶接部では特に疲労亀裂に対して注意する必要がある。



図-23 腐食がみられるピンによる定着

■ポイント 様々なピン定着の例



■ピンによる定着の事例

- 腐食によって回転機能が失われると、設計で想定しない応力が生じる
- 内部で腐食を生じてても外観からは確認が極めて困難である。
- ピン孔(ピース)が溶接の場合、疲労亀裂に対する要着目箇所である

10. その他

(1) ケーブル屈曲部

吊橋によっては、ハンガーを主ケーブルに鞍掛け（ケーブルバンドに沿って屈曲させて引っかける方法）で取り付けられている場合がある。

一般に、ケーブルは直線で使う場合一番強度効率がよく、逆に屈曲させると強度効率が落ちるだけでなく屈曲の影響により強度が低下することがあるため安全率は低く抑えられている。すなわちケーブル屈曲部はケーブルにとって弱点となりやすい部位であるため注意するのがよい。

また、屈曲部では、雨水の滞留が生じたり、表面が凹凸になるため塗装の弱点となりやすいなど相対的に防食機能の弱点となりやすい場合もある。



図-24 ケーブルバンドつり下げによる屈曲部

(2) タワーリンク

タワーリンクは、塔柱との干渉回避や桁の剛性確保などの理由から塔直近の桁を塔柱から直接を吊るための機構であり、大型の鋼板を用いた「両ピン」部材の形式が多い。

ピンの回転機能の維持が重要であるが、特に大型の可動機構となるため、機能不全を生じることもある。機能障害を生じると、リンク本体やピンの疲労破壊など重大な悪影響が生じることがあるので注意が必要である。



図-25 タワーリンクの例

現場に学ぶメンテナンス

吊橋の主ケーブル一部破断時の対応事例

1. はじめに

吊橋の主ケーブルの破断は、橋梁全体の安全性に深刻な影響を与えうる重大な損傷です。一方で、長期間にわたり供用されるなかで、主ケーブル本体や定着部の防食機能が劣化すると、主ケーブルの深刻な腐食から破断に至ることもあります。

本稿では、吊橋の主ケーブルの一部が破断した事例を取り上げ、その経緯と対応における留意点について紹介します。

2. 原田橋の損傷概要

国道473号の原田橋（図-1）は、浜松市が管理する1956年建設の吊橋（鋼単径間補剛吊橋、橋長138.8m、幅員5.5m）で、1939年（昭和14年）の基準（設計活荷重T-9）で設計され、地域の生活道路や観光資源として活用されてきました。

主ケーブルはφ65mmのワイヤーロープで、計6本あります。1本の主ケーブルは、素線37本をより合わせたストランド7本で構成されています。なお、心材には強度を期待していません（図-2）。

2012年4月、主ケーブルのロープの1本で、6本のストランドのうち1本が定着部付近で破断しているのが確認されました（図-1、写真-1）。

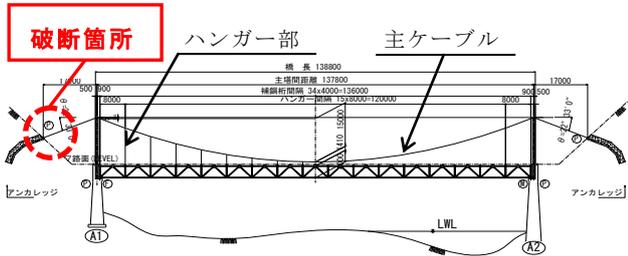


図-1 原田橋一般図と主ケーブル破断箇所

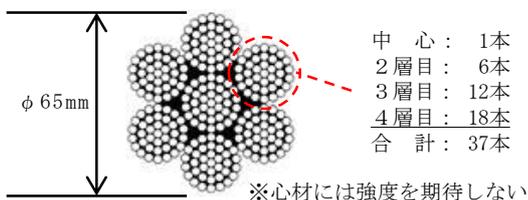


図-2 主ケーブル断面構成



写真-1 主ケーブル破断状況

破断箇所は定着ソケットの直近で、防錆材やラッピングワイヤーで覆われており、ロープ表面を直接見ることが難しい箇所でした。また、定着部背面のアンカーは斜面の岩盤に埋め込まれ、破断箇所を覆うように落石防護網が施工されており、そのままでは近接目視で見える範囲にやや制約があった可能性があります。

橋の構造や防食仕様によっては、このように外観目視できても、腐食が疑われる内部までは視認できない場合や、橋の建設後に設置された構造物によって点検に制約が生じている場合があります。必要な点検ができたかどうかを判断し、必要に応じて追加調査を行うことも検討することが重要です。また、周囲の状況などから腐食の局所的な進行も疑って評価することが重要です。

3. 対応の経緯

3.1 緊急措置

破断したロープ以外も防食仕様や定着部の環境条件に大きな違いはないと考えられ、同様の腐食が進行している可能性も否定できず、また破断したロープの影響の橋全体の耐荷力への評価も困難であったことから、全面通行止めが行われました。

吊り構造形式の橋では、吊材が破断すると、その影響が橋全体に及びます。現象が複雑なため、

結果的に残った部材がどのような応力状態となり、どの程度安全余裕があるのかは、詳細調査や検証を行うことなく判断することは極めて困難です。また、古い年代の鋼材は、現在の鋼材と品質が異なり腐食によって脆性的に破断することもあるため、それを予測することも困難です。

部材の破断など耐荷力に影響のある損傷が生じた場合は、対策までの間は少なくとも損傷発見時よりも応力が緩和される状態に移行させることが安全確保上重要です。本橋の場合は、通行止めにより自動車荷重分の応力低減措置を行った上で、詳細調査と応急措置の検討が進められました。

3.2 詳細調査

耐荷力に関わる深刻な損傷が生じた場合、橋の状態を把握する上で、橋全体の正確な形状を把握することが有効な場合があります。特に、本橋のような吊り構造形式の橋や大規模な橋では、重要な部材の破断は変位に現れやすく、本来の形状に対してどのように形状や位置が狂っているのかを把握することで解析的に橋全体の応力状態を比較的精度良く推定することができます。

本橋では、正確かつ簡便に位置が把握できる3Dレーザースキャナ測量（撮影した範囲のすべての座標値を設定することが可能）による測定を行いました（写真-2）。その結果、立体フレーム解析によって、建設当時及び過去の補修補強工事の記録からの事故前の状態の再現を通じて、現況の耐荷力の推定を短時間で行うことができました。本橋のように建設後に補修補強が行われていると、建設当時の記録が残されていても補修補強の記録が残されていないと現況の正確な推定は不可能です。このように、供用期間中の様々な記録が建設当時の記録と共に確実に保存されていることは、適切な維持管理をするために極めて重要です。

また、全主ケーブル定着部のラッピングワイヤーを除去し、防錆材の劣化状況やロープの腐食状況を確認しました。一方、ロープは多数の素線からなるため、内部の腐食状況を外観から把握することはできません。そのため、全磁束法（鋼材中を通る磁束を測定し、磁束と断面積の比例性より磁性体部（非腐食部）の断面積を評価する方法）による腐食の推定も行いました（写真-3）。



写真-2 3Dレーザースキャナによる測量結果



写真-3 全磁束法による腐食状況調査

これらの調査の結果、破断したロープ以外では破断の危険性がある程の深刻な腐食の可能性は小さいと評価されました。

3.3 応急措置

詳細調査と並行して、供用再開に向けた対策の検討が進められました。安全性の確保のためには、深刻である可能性は小さいものの一定の腐食があることに加え、非破壊検査の限界や材料の信頼性も考慮する必要があります。これらを考慮した結果、元の主ケーブルとは別系統のセーフティケーブルを設置することとなりました（写真-4）。信頼性を保証できる対策を行う上では、このように既存部材に頼らない別途の対策を、信頼性の保証された新しい材料や構造のみで行うことが有効かつ合理的な方法となる場合があります。



写真-4 セーフティケーブル設置状況



写真-5 通行止め解除状況

4. おわりに

詳細調査と応急措置の後、本橋は2012年4月24日～6月25日の約2ヶ月間の通行止めを解除し、車両重量、走行位置の制限とモニタリングを行うという条件付きながらも供用を再開できました（写真-5）。本事例が他の道路橋の維持管理の参考になれば幸いです。

国土交通省国土技術政策総合研究所
 道路研究部道路構造物管理研究室長 玉越隆史
 (独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター
 橋梁構造物研究グループ 上席研究員 村越 潤
 国土交通省中部地方整備局道路部
 道路保全企画チーム 道路構造保全官 高橋 仁
 浜松市土木部道路課

吊材破断時の安全対策 —PCアーチ橋の事例—

1. はじめに

道路橋に使われる吊材には、高張力のケーブルや鋼棒が用いられ、塗装や被覆による防食が施されます。しかし、吊材に腐食が生じて、著しい断面欠損や破断に至った場合、構造形式によっては橋全体の安全性に深刻な影響が生じる可能性があります。そのため吊材が大きく損傷した場合に安全性を慎重に見極めながら適切な応急対策を実施する必要があります。本文では、吊材の破断が生じたPCアーチ橋の事例を取り上げ、応急処置から復旧までの経緯の概要と安全対策について紹介します。

2. 君津新橋と損傷の概要

君津新橋は、1972年に建設された千葉県君津市が管理する国内初のPCローゼ橋（支間66m、ライズ約14m、総幅員14m）です¹⁾。2008年10月、写真-1に示すように吊材が1本破断しました。

図-1、写真-2に、吊材の構造と破断状況を示します。吊材は、タールエポキシ樹脂塗装を施した鋼棒（φ32mm、SBPR、B種2号）で、周りをステンレス製の保護管で覆う構造でした。構造部材でない保護管は4m毎にステンレス製のさや管を介して固定ボルトでつないだ構造でした。調査の結果、保護管内には滞水が生じる一方で、異種の金属である保護管や固定ボルトと鋼棒の接触したことにより異種金属接触腐食が生じ、鋼棒に局部

的に著しい断面欠損が生じたものと考えられます。

3. 対策の経緯

3.1 応急処置

吊り形式の橋における吊材の機能喪失は、一部であっても耐荷力が大きく低下する危険性があります。加えて本橋では破断していない吊材の状態が保護管のために確認できず、連鎖的な破断が生じる危険性も否定できない状況でした。そのため直ちに全面通行止めを行いました。これは単に第三者被害を防止するだけでなく、載荷重軽減により損傷発見時よりいくらかでも構造の安全余裕を確保する狙いがありました。さらに、今後の調査と対策時の安全確保のために、ベントを設置しました(図-2(a))。調査の結果、他の多くの吊材で著しい腐食が生じており、このような安全対策の実施は結果的に事故予防には適切な措置であったと考

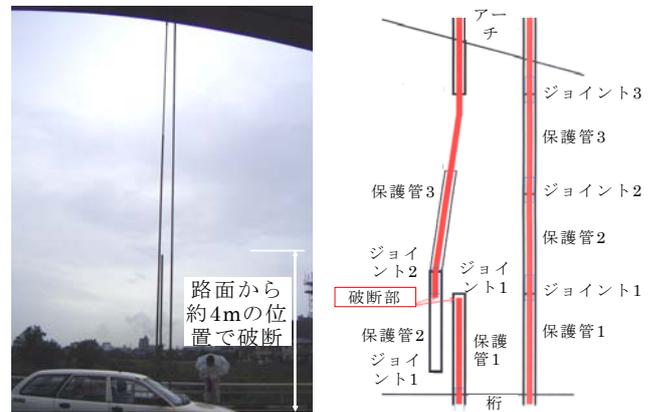


図-1 吊材の防護構造と破断状況



写真-1 橋の外観と吊材の破断位置

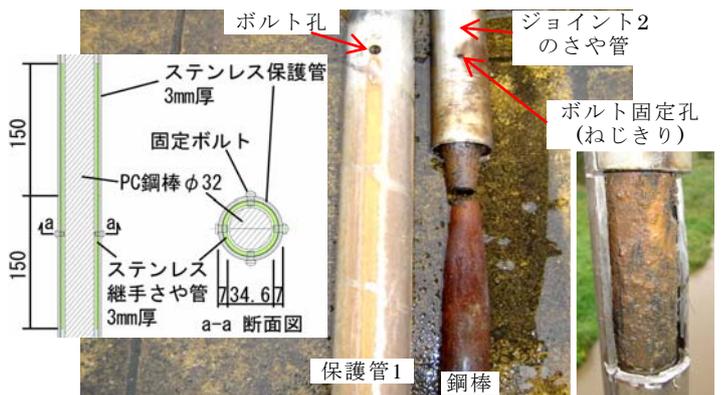


写真-2 吊材の破断部の腐食（右下は他の吊材の例）

現場に学ぶメンテナンス

えられます。

3.2 復旧工事

多数の吊材に腐食が見られたため全吊材の交換を行いました。その際、1本の吊材の破断により、破断していない吊材の張力も変化するなど構造全体の応力分担状況が変わってしまっており、単に破断した吊材をつなぐだけでは元の橋の状態に回復させることができません。そのため解析によって破断前の状況の再現と破断の影響を推定するとともに、状態回復に向けた吊材の交換順序、張力導入方法の検討を行いました(図-2(b)、図-3)。その結果、各吊材位置で張力を維持したまま吊材の更新を行うこととし、新たに張力開放装置(写真-3)を開発しました。さらに実大の試験施工で詳細な施工要領を確立し、全工程を通じて他の部材の応力状態を大きく変化させることなく、新しい吊材に安全に交換することができました。最終的に、破断前に近い橋の状態となるよう各吊材の張力を調整するとともに、今後の管理に役立てるため、各吊材の張力を振動周波数で把握する際に必要となる固定間距離などの諸数値を測定しました。

4. おわりに

外観目視による点検には限界があります。そのため、構造に応じた潜在的危険性を見つけるよう、僅かな痕跡、振動や結露など様々な症状を、注意深く観察することが重要です。また、未だ確認できていない部位については、決して根拠のない楽観的な憶測での判断は避けなければなりません。

構造部材の欠損では周囲の部材の応力状態も変化するため、単に損傷した部材を補っただけでは、橋全体の応力状態が元にもどらないことに注意が必要です。さらに既設橋では建設当時の架設方法や施工手順によって応力状態が異なるので、施工時の資料をよく調査する必要があります。仮に情報が無い場合には安全側に見積もることが大切です。

なお、本橋では、吊材の交換に際して、防食と脆性破壊回避の観点から高張力の鋼棒をポリエチレン被覆ケーブルに変更しました。補修補強の際、現時点で適切な材料に交換することが大切です。また、交換に用いた張力開放装置のように、新し

い工法を採用するには、現地状況の制約も考慮して、適宜試験等によって当該条件での確実性・安全性を事前に検証しておくことも重要です。

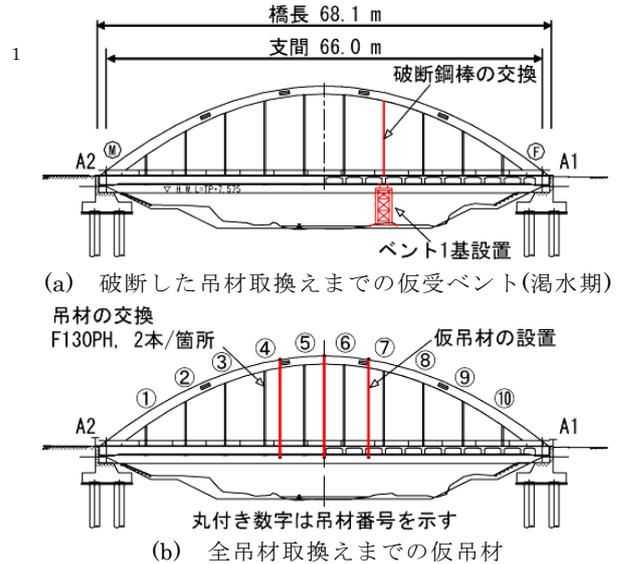


図-2 全吊材取換えまでの安全対策

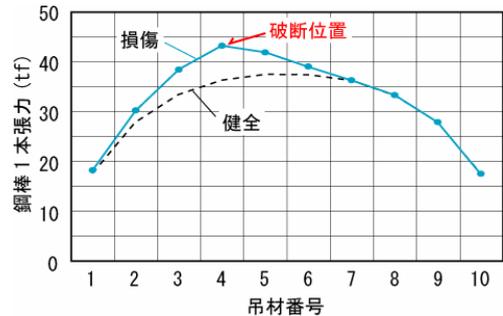


図-3 解析による吊材破断による張力変化



写真-3 張力開放装置の性能確認試験の状況 (市では事前に実物大実験を行い、張力管理方法、手順を詳細に定めた)

参考文献

1) 大浦弘夫ほか：君津新橋の設計と施工について、橋梁、pp.2～9、1973.11.

国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部
 道路構造物管理研究室長 玉越隆史
 君津市建設部管理課 主査 林 俊弥
 独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター
 橋梁構造研究グループ 上席研究員 木村嘉富