

# 引張材を有する道路橋の損傷例

令和6年7月

本参考資料は、これまでの定期点検結果や直轄診断の実績等をもとに、ケーブル等の引張材を有する道路橋の定期点検の留意事項をまとめたものである。定期点検等、適宜、道路橋の維持管理において参考するとよい。

## 目 次

1. 引張材を有する道路橋の構造形式の例.....	1
2. 定期点検の留意事項.....	7

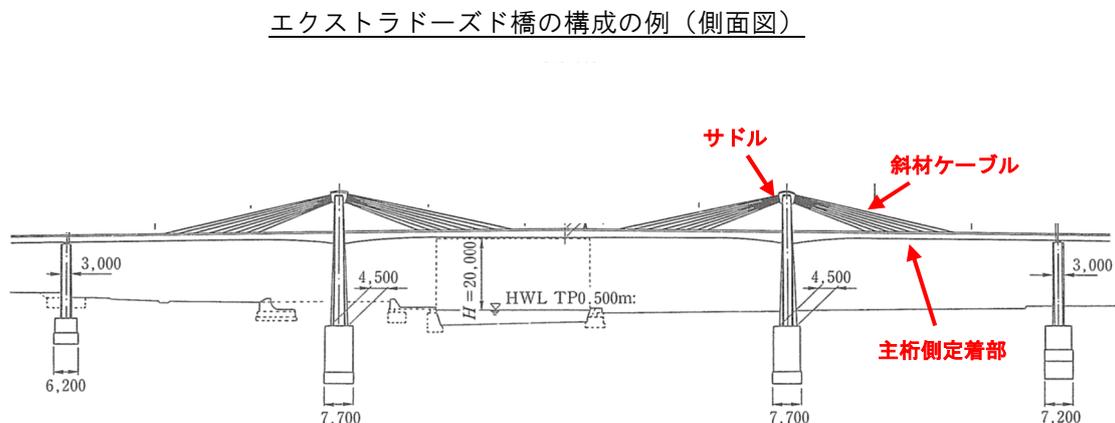
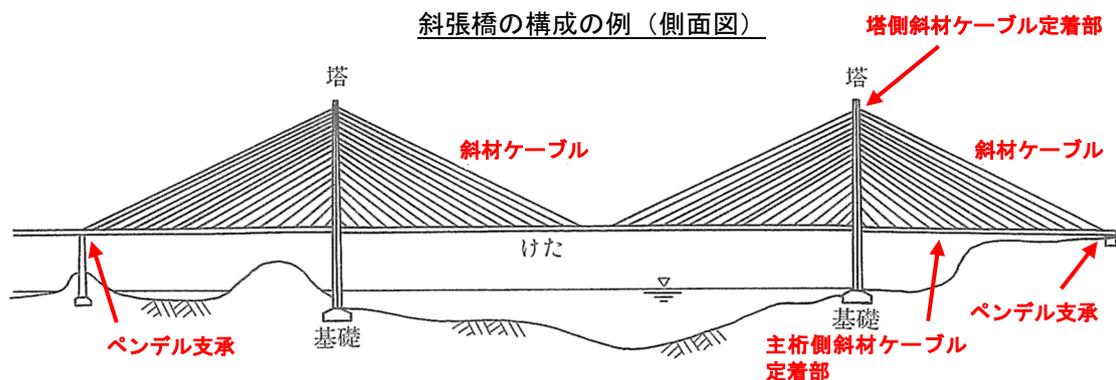
## 1. 引張材を有する道路橋の構造形式の例

道路橋の中には、引張材に破断等が生じることで、橋全体が致命的な状態に至る可能性や、橋全体の挙動に大きな影響を与えることが懸念されるものがある。例えば、以下の部材を有する橋はこれに該当すると考えてよい。

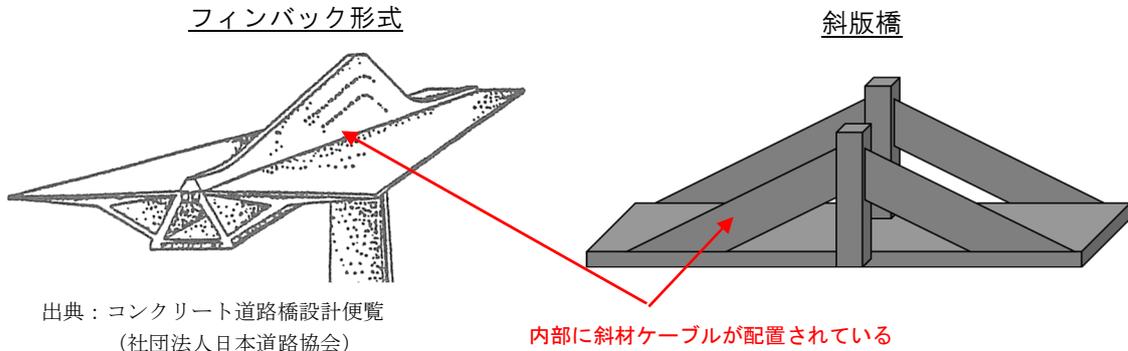
- 1) 引張材：ケーブル、吊り材、ペンデル支承、グラウンドアンカー等
- 2) 1) の定着部（引張材を定着するための定着具及び定着具を配置するための補強された部位）
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材

これらの部材を有する代表的な構造としては以下の構造があげられる。これら以外の構造についても、定期点検にあたっては、破断等が生じたときに橋全体の安定や挙動に与える影響が大きい引張材を有する橋かどうかを確かめるのがよい。

### 1-1) 斜張橋, エクストラロード橋

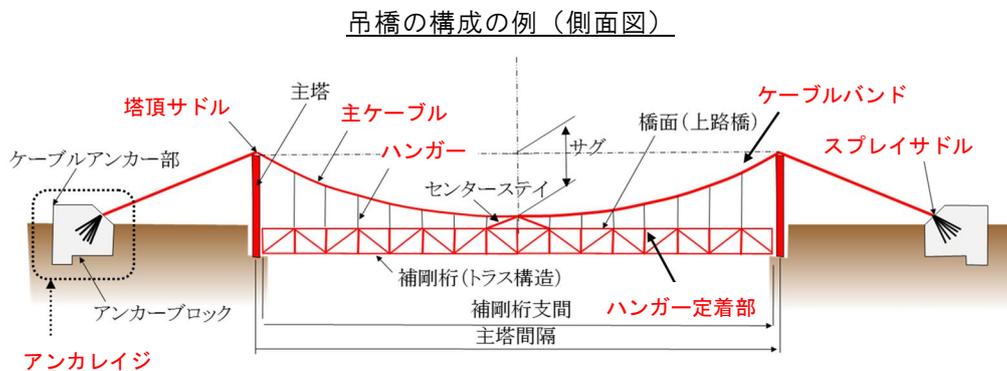


その他の構造形式



- 1) 引張材：斜材ケーブル  
ペンデル支承
- 2) 引張材定着部：主桁側斜材ケーブル定着部  
塔側斜材ケーブル定着部  
ペンデル支承定着部
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材：サドル

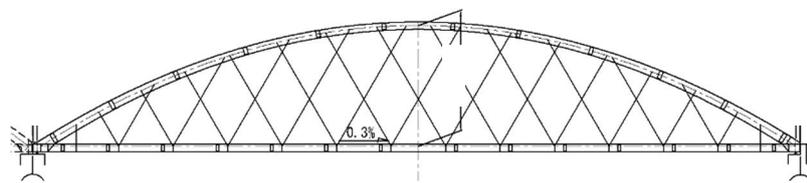
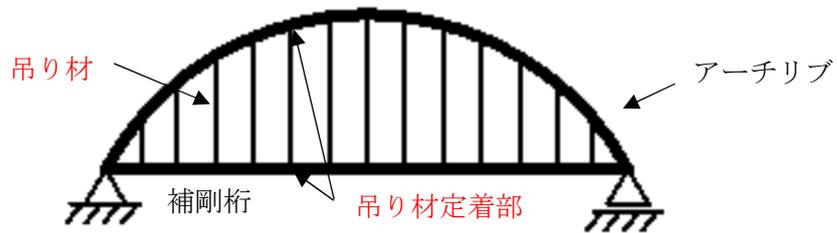
1-2) 吊橋



- 1) 引張材：主ケーブル  
ハンガー
- 2) 引張材定着部：アンカレイジ (主ケーブル定着部)  
ハンガー定着部 (ハンガーの定着部 (主桁側))  
ケーブルバンド (ハンガーの定着部 (主ケーブル側))
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材：サドル

### 1-3) アーチ橋

アーチ橋の構成の例（ローゼ橋の場合）（側面図）



（吊り材が斜めに配置されている事例）

- 1) 引張材：吊り材
- 2) 引張材定着部：吊り材定着部

### 1-4) 吊床版橋

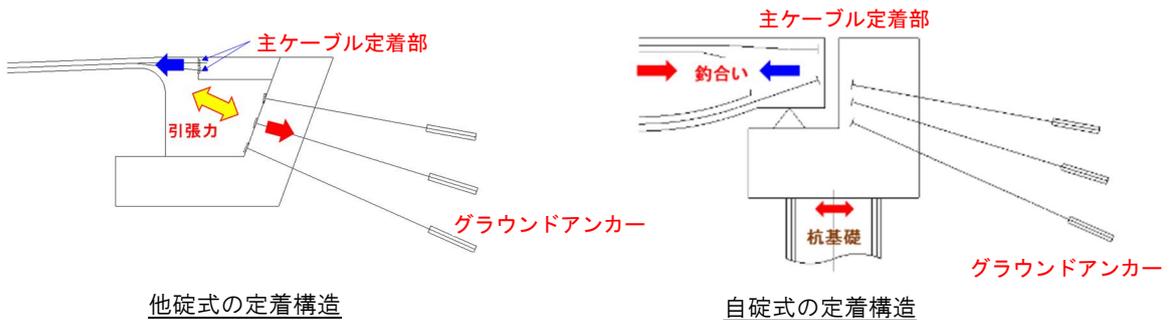


直路式吊床版橋

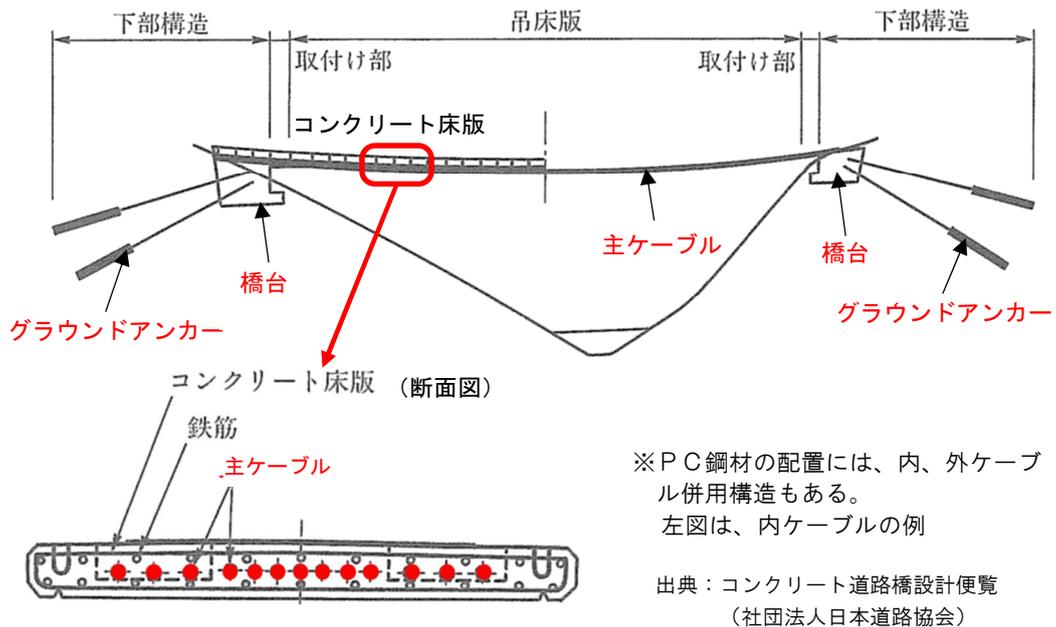


上路式吊床版橋

写真の出典：プレストレスト・コンクリート建設業協会 <http://www.pcken.or.jp/>

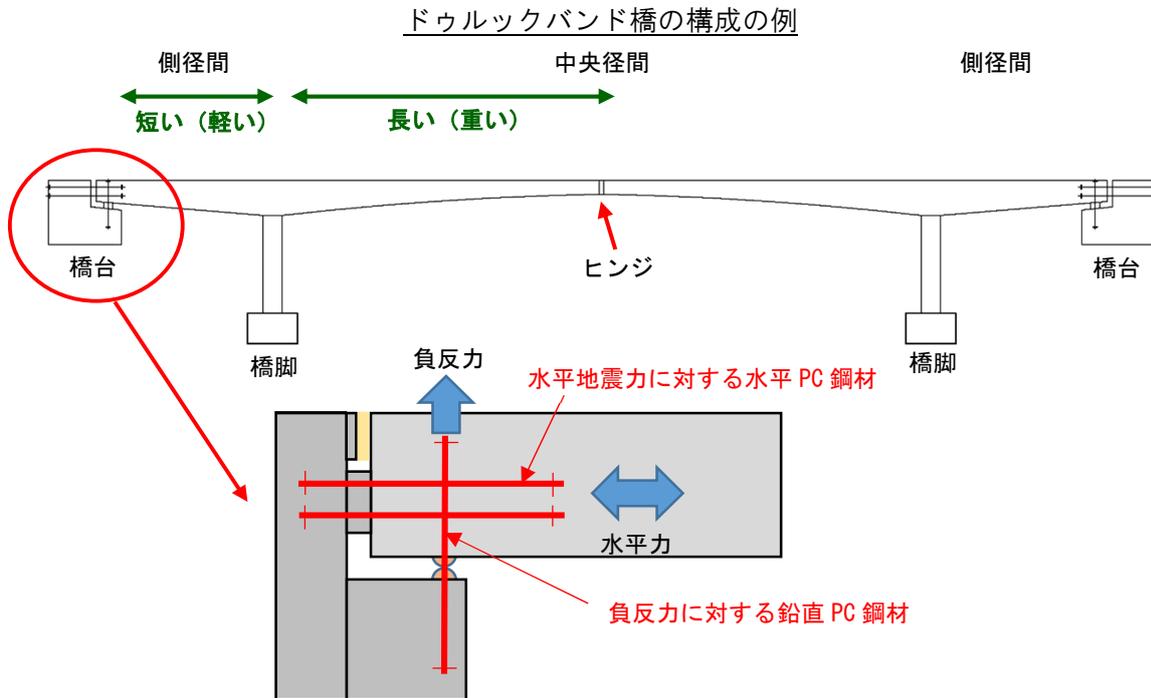


直路式吊床版橋（他碇式）の構成の例



- 1) 引張材：主ケーブル  
グラウンドアンカー
- 2) 引張材定着部：主ケーブル定着部  
グラウンドアンカー一定着部
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材：橋台

## 1-5) ドブルックバンド橋



- 1) 引張材：鉛直 P C 鋼材  
水平 P C 鋼材
- 2) 引張材定着部：鉛直 P C 鋼材定着部  
水平 P C 鋼材定着部
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材：橋台

## 1-6) 外ケーブル補強された構造



コンクリート橋の外ケーブル補強の例

出典：道路橋補修・補強事例集 (2009 年版)  
(社団法人日本道路協会)



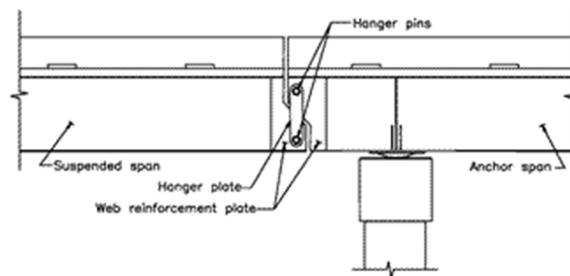
鋼橋の外ケーブル補強の例

- 1) 引張材：外ケーブル
- 2) 引張材定着部：外ケーブル定着部
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材：偏向部

## 1-7) その他の構造例

例として、支間の途中で桁を連結するために吊り材（ピン・ハンガー）が用いられている事例を示す。

これら以外にも、定期点検においては、引張材については、その破断が生じたときに橋に与える影響を念頭におき、定期点検を実施するのがよい。



a) ピン・ハンガーの構造例

## 2. 定期点検の留意事項

これまでの定期点検結果や直轄診断の実績等をもとに1. で示した部材や橋の損傷例及び定期点検での留意事項を示す。なお、近接目視による変状の把握には限界があるため、必要に応じて非破壊検査技術などを適用することも検討しなければならない。

- ・ケーブルは、桁の死荷重や桁に作用する活荷重等を支持し、吊構造の橋においては、その張力を塔やアンカレイジに伝達する部材である。
- ・ケーブルの破断にともない、支持していた荷重や衝撃の影響が他の部材やケーブルに影響を与えることで、ケーブル構造のバランスが崩れたり他の部材やケーブルの損傷につながるなど、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

- ・ ケーブルやその防食方法の代表的な例としては以下が挙げられる。

・ より線ワイヤの例

めっき(1本のストランド)



めっき(複数本束ねたもの)



めっき+ラッピングワイヤ+塗装



防錆油+ポリエチレン被覆



コンクリート被覆



出典: ポルチェベラ高架橋  
<https://www.autostrade.it/it/autostrade-per-genova/vero-falso>

ケーブルの途中に接合部がある例



主ケーブルがロッドに定着されている例



・ ロックドコイルの例

めっき



・ 平行線ケーブルの例

めっき+ラッピングワイヤ+塗装



- ・ その他、鋼心入りケーブルなど様々な種類のものがある。

備考

■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、防食仕様なども異なる。状態の把握にあたっては、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、耐荷性能や耐久性等に関わる異常やその徴候の有無を的確に判断する必要がある。



例

コンクリートで被覆された斜材ケーブルが破断し落橋した事例（島田橋）。  
（出典：建設事故，日経BP社）



例

コンクリートで被覆された斜材ケーブルを有する斜張橋が落橋した事例（ポルチェベラ高架橋）。  
（出典：  
<http://www.mit.gov.it/>）



例

コンクリート内部にケーブルを有する吊床版橋が落橋した事例（トロヤ歩道橋）。  
（出典：  
<https://structurae.net/structures/troja-footbridge>）



※写真は吊橋の例

例

ケーブルを用いた構造では部材の破断や定着部の異常が全体の形状に影響を与えやすいため、線形等から異常の徴候が発見できる場合がある。  
異常なたわみなどが見られる場合は、主ケーブルだけでなくその他の部材が原因となることもある。

備考



※写真は吊床版橋下面のひびわれ事例

例

主ケーブルがコンクリート内部に配置されている吊床版橋の吊床版にひびわれ、主ケーブル内への水の浸入を疑う変状が生じている場合、内部鋼材の腐食により耐荷性能に影響を及ぼしている可能性がある。

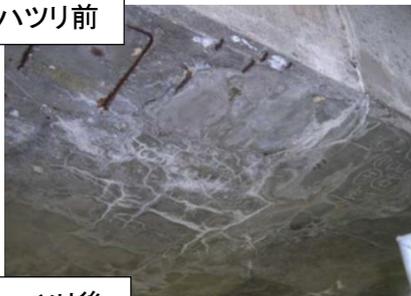


※写真はPC桁下面のひびわれ事例

例

PC鋼材を被覆しているコンクリートにPC鋼材に沿ったひびわれ、遊離石灰等が生じている場合、水の浸入により内部鋼材の腐食が生じている可能性があり、耐荷性能に影響を及ぼしていることもある。

ハツリ前



ハツリ後



※写真はPC桁下面のひびわれ事例

例

コンクリート内に配置されたケーブルが、グラウトの充填不足等により水の浸入を要因として腐食・破断した事例。斜張橋やエクストラードズド橋のケーブルがコンクリートで覆われている場合には、内部鋼材の変状は、コンクリートの浮き、剥離、錆汁、遊離石灰の析出となって現れることがあるので注意するのがよい。また、打音検査等でコンクリートの状態を確認するのがよい。

備考

■コンクリート内部の鋼材に腐食が疑われる場合は、ハツリや非破壊検査により内部を確認する必要性についても検討するのがよい。



※写真はPC桁下面の損傷事例



※写真はPC桁下面の損傷事例

例

PC鋼材を被覆しているコンクリートに規則的な損傷が生じている場合、ひびわれの発生がない場合であっても、スペーサーや組立て鉄筋、せん断補強鉄筋などの腐食にともなう変色、浮き、剥離が点在することがあり、内部の鋼材の変状により耐荷性能に影響を及ぼしている場合もある。外観から得られる情報を総合的に判断して、内部の状態を推定し、耐荷性能や耐久性への影響を推定する必要がある。

例

例

備考

■コンクリート内部の鋼材に腐食が疑われる場合は、ハツリや非破壊検査により内部を確認することも考えられる。



例

ポリエチレン被覆されたエクストラドーズド橋の斜材ケーブルの定着部付近へ水が浸入し腐食・破断した事例（雪沢大橋）。



例

上記の橋の破断部の写真。目視可能なケーブルの被覆に必ずしも徴候が現れるわけではなく、また、外部での徴候から想定するよりも内部で著しい損傷が生じている場合もあるため注意が必要である。



例

上記の橋の主桁側PC定着部の事例。定着部が滞水しやすい構造となっている場合、定着部内部に水が浸入し斜材ケーブルが腐食する可能性があるため注意が必要である。



例

主ケーブルがコンクリート外部に配置されている吊床版橋のPC鋼材被覆部の損傷事例。外ケーブルの場合、ポリエチレンなど被覆により腐食に対する防食が施されていることから、被覆の損傷等、主ケーブル内への水の浸入を疑う変状が生じていないかどうか確認する。

備考

■ケーブル破断の要因としては腐食の影響だけではなく、活荷重や風荷重による疲労の影響、または、その複合も考えられるため、耐風対策のために設置されている周辺部材に損傷が生じていないかなどにも注意して、疲労の影響の可能性についても確認する必要がある。



例

主桁側定着部の付近での点検事例。  
 場合によっては、保護カバーをはずして、水の浸入や滞留、内部の腐食状況について確認することが有効な場合もある。



例

斜張橋の斜材ケーブルに異常なたわみが生じた事例。  
 地震などによりケーブルに異常なたわみが生じている場合、異常が生じたケーブルだけでなくその他のケーブルも含めて、ケーブル張力に異常が生じていたり、その他の場合に影響を及ぼしている可能性もある。



例

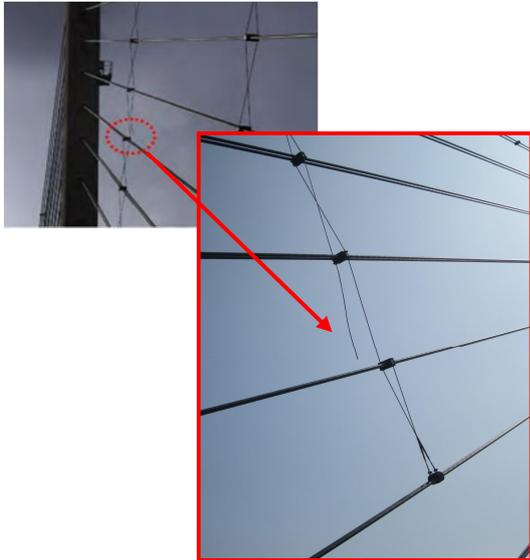
斜張橋の斜材ケーブルの被覆に損傷が生じた事例。  
 斜材ケーブルの場合、ポリエチレンなど被覆により腐食に対する防食が施されていることから、被覆の損傷等、主ケーブル内への水の浸入を疑う変状が生じていないかどうか確認する。

備考

■ケーブル内部の詳細な状態の把握の方法も検討するのがよい。



写真は、サドル部保護カバーの損傷事例



写真は、制震ワイヤの損傷事例

例

ケーブルの損傷要因としては腐食の影響だけではなく、活荷重や風荷重による疲労の影響、または、その複合作用によることも考えられる。

このため、ケーブルの耐荷性能、耐久性能の推定にあたっては、ケーブル本体のみでなく、周辺部材に損傷が生じていないかどうかを確認することが必要となる。

例

備考



例

吊橋の主ケーブルの垂鉛めっきが消耗している事例。複数の素線が束ねられているケーブルの内部の腐食が進んでいる場合もある。ケーブル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一般的には困難である。表面の腐食状況、内部からの錆汁の漏出の有無、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できない内部の状態を推定し、耐荷性能への影響を推定する必要がある。



例

主ケーブルに局部腐食（孔食）が見られる事例。ケーブル内部の腐食が進んでおり、耐荷性能に影響を及ぼしている場合もある。

例

備考



例

主ケーブル全体に防食機能の劣化や腐食が見られる場合、内部に既に腐食が生じていたり、点検時点では耐荷力への影響は限定的であったとしても、原因によっては、腐食が急激に進む可能性もある。



例

主ケーブルに断面減少を伴った腐食が見られる場合、既に耐荷力に影響を与えており、このまま放置すると更なる断面減少や破断等に至り、主ケーブルの耐荷性能の低下が生じる可能性がある。



例

主ケーブルに破断が見られる場合、その他のケーブルや部材等、ケーブル構造全体に影響を与えている可能性がある。



例

主ケーブルの腐食が進行し、素線に断線が見られる場合、既に耐荷力に影響を与えており、このまま放置すると更なる断面減少や破断等に至り、主ケーブルの耐荷性能の低下が生じる可能性がある。

備考

■留め具などにステンレスなど異種金属を用いている場合には、異種金属接触による著しい腐食が鋼材に生じるおそれがある。この場合、同構造の他の部位にも同時多発的に腐食が生じる可能性があるため注意が必要である。



例

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吊橋の主ケーブルのラッピングワイヤやケーブルバンドのコーキングに損傷が生じている場合、内部のケーブルに腐食が生じている場合もある。  
ラッピングワイヤを撤去しない限り、ケーブル本体を視認することはできないため、ラッピングワイヤの塗装も含めた状態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を注意して確認する必要がある。



例

吊橋のケーブルバンド内部のケーブルに腐食が生じている事例。  
ラッピングワイヤのある主ケーブルでもケーブルバンド部はラッピングワイヤ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。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。ケーブルバンド内部を直接確認することは困難であるが、錆汁の漏出など腐食が疑われる場合には、バンドを一時解放することも含め慎重に評価する必要がある。

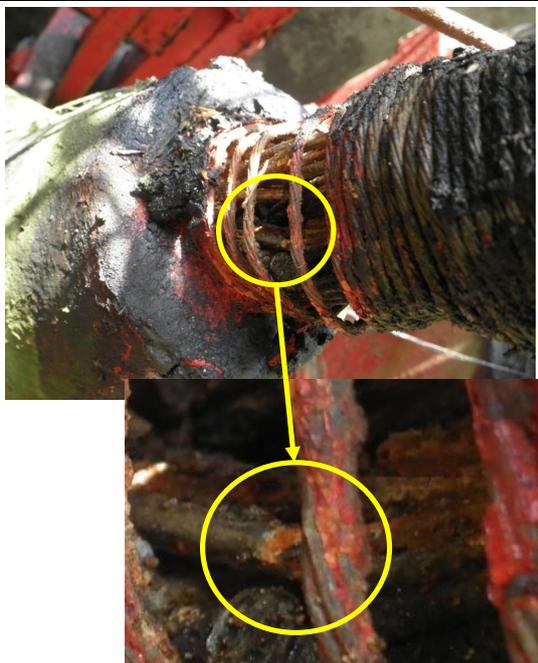
備考

■ケーブル内部の異常が疑われた場合には、耐荷力への影響を推定するにあたって、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等も必要に応じて検討するのがよい。



例

吊橋の主ケーブルの防錆剤が劣化して防食機能が喪失している場合、原因によっては、放置されると腐食が進展する可能性がある。



例

ラッピングワイヤ内部での素線の破断が生じている場合、既に耐荷力に影響が生じており、原因によっては放置されると腐食が進展し、断面減少が生じる可能性がある。  
ケーブルは、表面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かりにくいことが多い。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。



例

吊橋のケーブルバンド端部付近で主ケーブルの素線に破断が生じている場合、既に耐荷力に影響が生じており、原因によっては放置されると腐食が進展し、断面減少が生じる可能性がある。  
遠望目視では把握が難しく、近接しないと適切に状態が把握できない場合が多い。

備考

■ケーブル内部の異常が疑われた場合には、耐荷力への影響を推定するにあたって、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等も必要に応じて検討するのがよい。



## 例

ニールセンローゼ橋のクランプ付近で、ケーブルの被覆に損傷が生じ、ケーブル素線に著しい腐食が生じている場合、既に耐荷力に影響を与えている場合がある。

クランプの締め付けや、ケーブル振動によりクランプ付近の被覆に生じる局所応力の影響などにより、被覆が傷むことがあることに注意する必要がある。

クランプ近傍での素線の局所的な腐食の進行が懸念される場合や、被覆に損傷があったまま時間が経過していることも疑われる場合には、被覆内への水等の浸入により、ケーブル全体及びケーブル定着部の腐食が進行し、断面減少が生じている可能性もある。

素線の防食の状態並びに素線とクランプの材質の組み合わせによっては、異種金属接触腐食が進行することも懸念される。

部材の交差部は死角になりやすいため、近接しないと適切に状態が把握できない場合が多い。

## 備考

■ニールセンローゼ橋では、ケーブルは、活荷重の衝撃の影響、風荷重、地震の影響による応力変動が大きい場合がある。

■非破壊検査を計画、結果の解釈を行う場合には、局所的なケーブルの腐食に対する検査の適用性を考慮する必要がある。たとえば張力やケーブル長の変化が顕著でないとケーブルの振動で損傷が検知できる可能性が低いこと、局所的な腐食に対する検知の感度についてキャリブレーションが必要な可能性があることを考慮し、検討や結果の考察を行うのがよい。



例

ケーブルのシースが損傷しており、充填されているグラウトにひび割れの発生も疑われる場合、雨水等の浸入によりケーブル全体や定着部の腐食が進行し、断面減少が生じている可能性もある。

シースはケーブルの振動によって損傷する可能性があり、また、内部のグラウトの損傷も顕著である可能性が考えられ、損傷の箇所や範囲や程度が不明であるため、耐荷力への影響を把握するためには詳細な状態の調査が必要な場合もある。

例

例

備考



例

斜張橋の主桁側定着部の口元に設けられるカバーは、定着部への水の浸入を完全に阻止できる構造となっていないものもあるので注意が必要である。保護カバーがあるため、定着部の口元を点検できない場合は、保護カバーをはずして、水の浸入や滞留、内部の腐食状況について確認することが有効な場合もある。



例

斜張橋の定着部保護カバーにケーブル定着部への滞水を防止するための水抜き等がある場合には機能しているかどうかを確認することも内部のケーブルの状態を把握するのに有効である。



例

斜張橋の主桁側定着部に、腐食により隙間が生じている場合、定着部内部に水が浸入しケーブルが腐食している可能性がある。ケーブルの角折れを緩和するためのゴム等は積極的に防水性を期待した設計・施工とはなっていない場合があるため注意が必要である。



例

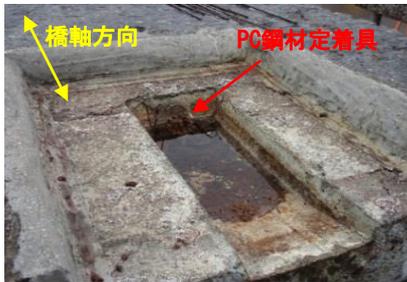
定着具保護カバー内の定着部の鋼材が一部腐食している事例。保護カバー内の充填材の充填が不十分な場合があり、斜材内に水が浸入すると、伝って定着部まで水が浸入し、腐食することも懸念される。点検では打音などにより保護カバー内の空隙の有無を確認することも有効である。

備考



例

ケーブルの定着部に腐食が生じている場合、定着部から内部に腐食因子が侵入している可能性があり、内部の鋼材が腐食する可能性もある。  
伸縮装置からの水の浸入など、他の部材の排水機能の低下についても注意が必要である。



例

定着部がコンクリート内に埋め込まれている場合、打継目が水みちとなり、逃げ道のない跡埋め部に水が滞留する可能性もある。滞留した水はPC鋼材の腐食の要因となり鋼材の破断に至る場合もある。  
(写真は撤去桁の上縁定着部)



例

定着部に遊離石灰が生じている場合、PC鋼材の防食機能の低下が生じていると鋼材の腐食などにより耐荷力に影響を与える可能性がある。  
保護カバーや保護コンクリートの状態を確認するとともに、水の浸入経路について確認することが重要である。

例

備考

■定着部内の引張材の腐食や破断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、内部からの錆汁の漏出、定着部からの水の浸入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態も推定する必要がある。

・ペンデル支承の破断やその定着部の抜け出しが生じると、端支点で橋体が浮き上がり、橋全体の安全性に影響を及ぼすとともに、橋の機能回復が著しく困難になる。



例

ペンデル支承のアンカーボルトの破断事例。  
水が滞留しやすい構造では、湿润環境により、腐食が進展しやすく、環境が改善されないと破断に至る可能性がある。



例

浮上がり防止のための部材アンカーボルトの抜け出し、破断により、負反力に対する支持機能を失い桁が浮き上がった事例。定着部コンクリートのひびわれなど、アンカーボルトの引張耐力の低下を疑う余地がないか確認する必要がある。



例

ペンデル支承に腐食が生じている場合、腐食による板厚減少等によって応力集中しやすくなり、破断や亀裂が生じる可能性もある。  
また、ピン等、部材接合があることも多く、応力状態としても腐食環境としても弱点になりやすいので、接合部の状態も確認する必要がある。

備考

- ・サドルは、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部材である。
- ・サドルでケーブルの抜け出しやゆるみやすべりが生じると、径間のケーブル長さが変わるためケーブル構造のバランスが崩れ、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

- ・ サドルの代表的な例としては以下が挙げられる。

- ・ 塔頂サドルの例



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。

- ・ スプレイスドルの例



- ・ その他、様々な形状のものがある。

#### 備考

■サドル内部は直接視認出来ないことが多く、内部やサドル出入り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。



## 例

主ケーブルの素線の一部破断により塔頂サドルでケーブルの抜け出しが生じた事例。サドル部でケーブルに滑りが生じた場合、径間のケーブル長さが変わるため、ケーブル構造のバランスが崩れるなど、橋全体に致命的な影響を及ぼす危険性があるため注意が必要である。

吊橋は部材の破断や定着部の異常が全体の形状に影響を与えやすいため、異常の徴候が線形等から発見できる場合がある。



## 例

塔頂サドルを固定するボルトが脱落している場合、プレートからの締め付け力が低下し、すべりが生じやすくなっている可能性がある。ボルトの緩みやプレートの異常、抜け出し痕が無いかなどについて注意して状態を把握する必要がある。



## 例

塔頂サドルに腐食が見られる場合、確認時点では固定するボルトの締め付け力に影響を及ぼしていない場合でも、原因によってはプレートやボルトに腐食が進行し、締め付け力が低下する場合もある。

## 備考



例

締め付けプレートのない塔頂サドルのケーブル素線に腐食が生じている場合、確認時点では滑り抵抗が確保できている場合でも、このまま腐食が進行し、素線が破断すると、ケーブルにすべりが生じる可能性がある。  
また、素線の表面だけではなく、内部が腐食している場合もあることに注意する必要がある。

例

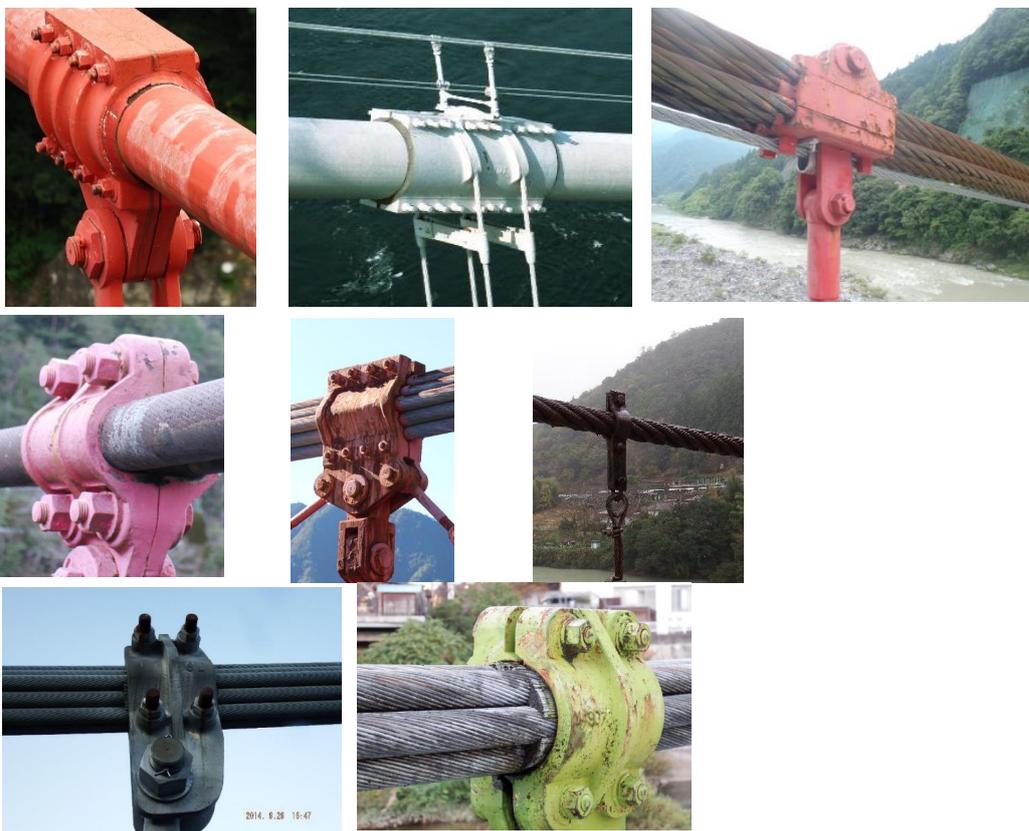
例

例

備考

- ・吊橋のケーブルバンドは、主ケーブルに吊り材を取り付けるための接続部材である。一般にバンドボルトの締め付け力による摩擦で固定されており、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る可能性がある。
- ・ケーブルバンドの滑りにともない、ケーブル構造のバランスが崩れ、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

- ・ 吊橋のケーブルバンドの代表的な例としては以下が挙げられる。



- ・ その他、様々な形状のものがある。

- ・ バンドボルトの軸力が低下する要因としては、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軸力低下によるすべりリスクが大きくなることから、軸力の低下に対して増し締めを行うとなるなど、適切な管理を行うことが重要となる。
- ・ 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の影響があるため、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注意する必要がある。

**備考**

■ ケーブルバンドには様々な形状のものがあり、形状毎に性質などが異なる。状態の把握にあたってはその特性を把握した上で構造安全性や耐久性に関わる異常やその徴候を的確に判断する必要がある。



例

吊橋のケーブルバンドのボルトに腐食が生じている場合、ケーブルバンドに腐食（異種金属接触腐食も含む）やボルトのゆるみによるすべりが生じる場合もある。



例

吊り材のケーブル側定着部にクリップが用いられている場合、クリップが正しく施工されていないと締め付け力の効率が著しく低下することにより、吊り材から外れる場合もある。適切に施工されているかどうかなど止め方について注意して確認する必要がある。



例

吊り材のケーブル側定着部に腐食が生じている場合、締め付け力が低下すると、吊り材から外れる可能性もある。



例

吊り材のケーブル側定着部に腐食が生じている場合、確認時点では耐荷力に影響が限定的であっても、環境が改善されないままであれば定着部が破断する可能性もある。

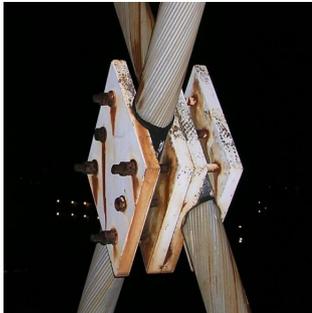
備考

■留め具などにステンレスなど異種金属を用いている場合には、異種金属接触による著しい腐食が鋼材に生じるおそれがある。この場合、同構造の他の部材にも同時多発的に腐食が生じる可能性があるため注意が必要である。



例

吊り材を接続しているワイヤクリップに腐食が生じている場合、すべりが生じ、吊り材が破断する可能性がある。  
ボルトの緩みや腐食が生じていないか確認する必要がある。



例

アーチ橋の吊り材固定金具のボルトに腐食が生じている事例。腐食により固定金具が緩むと、ケーブルに過度な振動が生じ、疲労損傷の要因となることや、ケーブル同士が接触し、損傷する可能性もあるため注意が必要である。



例

アーチ橋の吊り材（ケーブル）固定金具部で吊り材の被覆が損傷している事例。固定金具により吊り材が締め付けられている箇所では被覆材が圧縮変形し損傷が生じる可能性がある。また、固定金具近傍においても、風等による振動で固定金具より外力を受け、被覆材に損傷が生じる可能性がある。



備考

- ・ケーブルや吊り材の定着部における定着方法には様々な種類がある。
- ・定着部でケーブルの抜け出しやゆるみが生じると、ケーブル構造のバランスが崩れ、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。
- ・定着部内のケーブルの破断にともない、支持していた荷重や衝撃の影響が他の部材やケーブルに影響を与えることで、ケーブル構造のバランスが崩れたり他の部材やケーブルの損傷につながるなど、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

- ・ ケーブルや吊り材の定着方法の代表的な例としては以下が挙げられる。

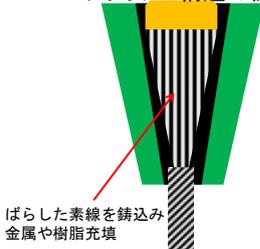
・ ソケット形式の例  
ハンガー



アンカレイジ



ソケットの構造の例



・ ピンの例

ハンガー



ハンガー



ハンガー



ハンガー



センターステイ



・ ねじ、カップラー、ターンバックルの例

センターステイ



ハンガー



主ケーブルがロッドに定着されている例



・ その他の例

圧締め方式



クリップ



- ・ その他、様々な定着方法がある。

備考

■ 定着方法ごとに腐食環境や防食仕様、応力分布が異なるため、定着方法ごとに防食や疲労の弱点となる箇所も異なることに注意が必要である。



例

吊り材の桁側定着部に腐食が生じている場合、可動機能の低下が生じると、設計で想定しない局部応力が生じる可能性があり、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により亀裂が発生する可能性もある。



例

吊り材の桁側定着部が溶接により接続されている場合、車両荷重や風荷重などにより繰り返し応力の影響を受けやすく、溶接部では疲労により亀裂が発生する可能性もある。



例

吊り材の桁側定着部のボルトに腐食が生じている場合、確認時点では引張力に対する耐荷力に影響が無くても、原因によっては、環境が改善されないと、腐食が進行し、断面欠損や破断に至るなど、耐荷力の低下が生じる可能性もある。

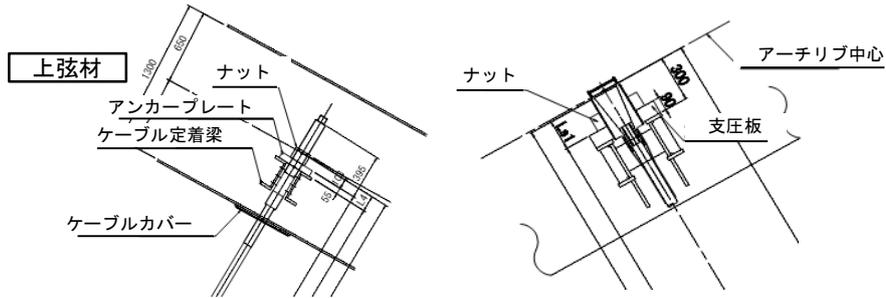
例

備考

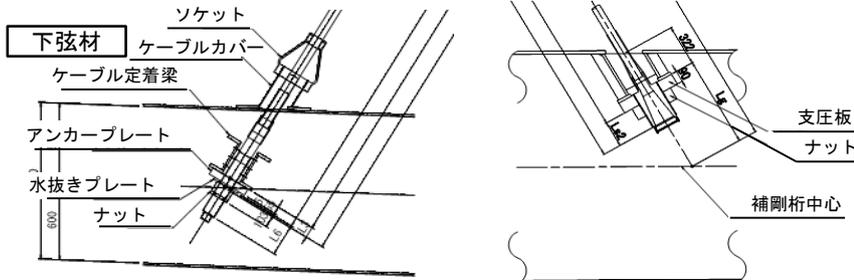
- ・アーチ橋の吊り材定着部は弦材の内部に位置する場合がありますが、構造は様々であるが、いずれも近接しなければ確認が困難である。
- ・定着部は構造上確認しづらいことが多く、その損傷も一層確認しづらいものとなる。必要に応じて手鏡やカメラ、非破壊検査等を用いて確認するほか、周辺の腐食環境等にも注意する必要がある。

- ・アーチ橋の吊り材定着部の構造の代表例としては以下が挙げられる。

・上弦材側定着部の例



・下弦材側定着部の例



備考



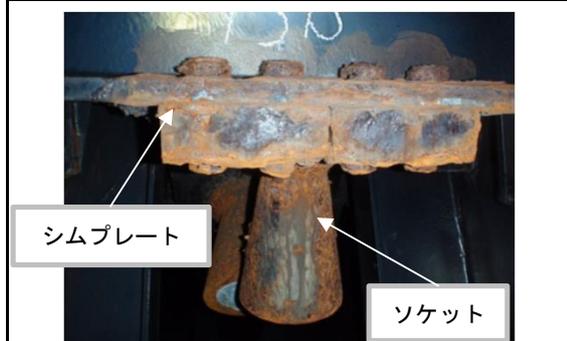
例

部材内部のケーブル定着部に著しい腐食が生じた事例。部材表面では腐食等の変状が確認できない場合であっても、ケーブル定着部やケーブルに腐食が生じ、耐荷力に影響が生じている場合もある。部材内部のケーブル定着部の状態を確認する必要がある。



例

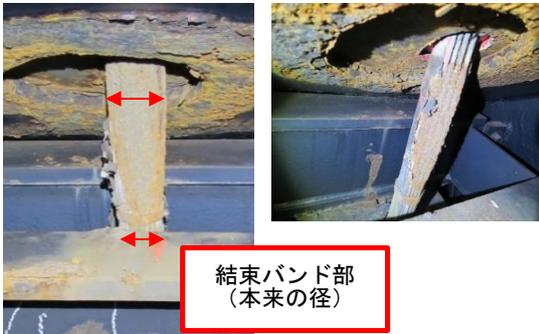
ケーブルと定着部への引き込み孔が接触している場合、被覆に割れなどが生じることで、防食上の弱点となっている可能性もある。ケーブルの振動などにより、周辺部材に損傷が生じていないかどうかなどにも注意するのがよい。



例

アーチ橋の下弦材内部の吊り材の定着部のソケットや定着構造（シムプレートなど）に腐食が生じている場合、ケーブル内部にも腐食が生じている場合もある。吊り材が定着構造に隠れる部分については、吊り材を直接確認することが難しいため、これら周辺部材の状態を確認することで内部の状態を推定する必要がある。

備考



例

吊り材の径が本来のものより大きくなっている場合、吊り材内部の腐食膨張が生じている可能性がある。

吊り材は、外側の素線から腐食が進むとは限らず、外観に腐食が確認できない場合でも内部が腐食している可能性があることに留意が必要である。

例



アーチ下弦材側の引込み部で、口元部分に施された防水構造の劣化や下弦材本体に腐食が生じている場合、弦材の内部で腐食が生じ、耐荷力に影響を及ぼしている可能性がある。

口元部分はシールされているが、経年により劣化が生じることに留意が必要である。

備考



例

アーチ橋の上弦材側の吊り材引き込み部において鋼製カバーが腐食し、脱落しかけている場合、定着部の状態によっては、確認時点では影響がない場合であっても、環境が改善されず放置されると、第三者や道路利用者被害につながる可能性がある。



例

アーチ橋の吊り材引き込み部で吊り材と上弦材が接触している場合、風等の振動により、ケーブル本体に疲労による亀裂が生じ、耐荷力が低下する可能性がある。



例

アーチ橋の上弦材内部に鳥の巣らしき稲藁が堆積している場合、糞や死骸等が水分を保持し、腐食に繋がる可能性がある。  
除去し無ければ、覆われていた箇所の状態を適切に把握できない場合が多い。  
吊り材引き込み部において弦材と吊り材の隙間が大きい場合には鳥類が侵入する可能性があることに注意する必要がある。

備考

- ・アンカレイジは、主ケーブルが定着される部材であり、主ケーブルの張力の全てを負担する部材である。
- ・大規模な吊橋のアンカレイジでは、アンカーフレームの大半はコンクリートに埋め込まれ、主ケーブルは、ある単位ごとにアンカーフレームに分担させて定着される。小規模な吊橋では、スプレイ室やサドルがなく、直接地山と一体となった構造もある。

- ・吊橋のアンカレイジにおける代表的な定着構造の例としては以下が挙げられる。

・主ケーブル定着部が1箇所の例

地山に定着



コンクリートに直接埋込み



ターンバックルによる接続



ワイヤークリップによる端末処理



アンカーフレームに定着



アンカーフレーム

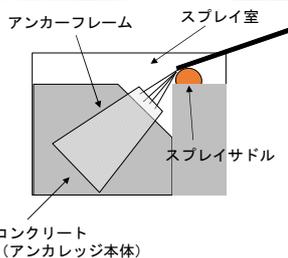


・主ケーブル定着部が複数分かれている例

アンカーフレームに分散させて定着



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る。



- ・その他、様々な種類のものがある。

備考

- アンカレイジにはサドル、アンカーフレーム、スプレイ室などがあり、その構成は橋毎に異なる。
- 点検にあたって、埋込部の内部を含めた定着部全体の異常の有無や徴候を確認する必要がある。



## 例

ケーブルが地盤に定着されている場合、水分の浸入等により、内部で腐食が進行している可能性がある。ケーブルが複数本配置されていたとしても、それらが同様の腐食環境におかれている場合は、腐食が同時に進行する可能性があることに注意が必要である。



## 例

ワイヤクリップにより定着されている場合、1つのワイヤクリップが腐食により緩むと、連鎖的にすべり、荷重の支持能力を失う可能性もある。また、ワイヤクリップが同様の腐食環境にある場合、腐食が同時に進行する可能性があることに注意が必要である。



## 例

留め具などにステンレスなど異種金属を用いている場合には、異種金属接触による著しい腐食が鋼材に生じ、環境が改善されなければ、急速に板厚減少や破断等が生じる可能性がある。この場合、同構造の他の部材にも同時多発的に腐食が生じる可能性があるため注意が必要である。また、腐食等によりターンバックル内部に水の浸入や滞水が生じると、内部から腐食が進展する可能性もある。



## 備考



例

主ケーブルのアンカー部に素線の断線が見られる場合、耐荷力への影響は限定的であっても、環境が改善されないと腐食が進行し、耐荷力に影響を及ぼす可能性があることに注意が必要である。



例

主ケーブルの定着部に素線の断線が見られる場合、耐荷力への影響は限定的であっても、環境が改善されないと腐食が進行し、耐荷力に影響を及ぼす可能性があることに注意が必要である。



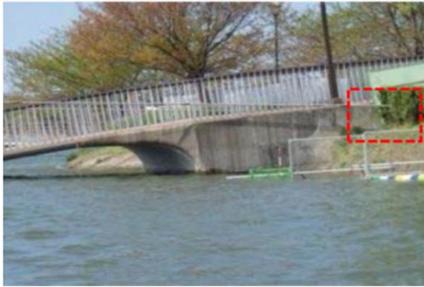
例

耐風索の定着部で土砂の堆積が見られる場合、滞水等により腐食が生じている可能性もある。環境が改善されないと腐食が進行し、耐荷力に影響を及ぼす可能性があることに注意が必要である。

例

備考

・吊床版橋などで、橋台に常時引張力に抵抗している構造となっている場合、鉄筋が腐食により破断し構造としての一体性を失うと、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。



出典：粕屋町水鳥橋復旧検討委員会、委員会報告（概要版）

例

落橋した吊床版橋の橋台（水鳥橋）。橋台の打継目等から水の浸入を疑う変状がある場合、内部の鉄筋が腐食・破断する可能性がある。（本事例では破断した結果、橋台が支間側に大きく回転している。）



例

橋台が移動している事例。橋台の打継目等から水の浸入を疑う変状がある場合、内部の鉄筋が腐食すると、構造としての一体性を失い、移動する場合もある。



例

橋台の打継目に漏水が生じている事例。ケーブル定着部が埋め込まれて常に引張力に抵抗している橋台の場合、鉄筋の腐食・破断により部材としての一体性が失われ、橋全体の安全性が失われることも考えられる。



例

コンクリート部材の施工時に設けた開口がコンクリートや無収縮モルタルで跡埋めされている橋台の跡埋め部に漏水が生じている場合、打継目からの水の浸入により、内部の補強鉄筋が腐食するし、構造としての一体性を失う場合もある。

備考

・グラウンドアンカーの破断にともない、支持していた荷重や衝撃の影響がその他のグラウンドアンカーに影響を与えることで、他のグラウンドアンカーの損傷につながるなど、橋台の安定性が失われる場合は、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。



出典：グラウンドアンカー維持管理マニュアル：独立行政法人  
土木研究所，社団法人日本アンカー協会：鹿島出版会

例

グラウンドアンカーの保護カバー内の防錆油等の充填材が漏出している場合、定着部の鋼材の腐食が進行したり、腐食によりグラウンドアンカー引張力に影響が生じている可能性も考えられる。



出典：グラウンドアンカー維持管理マニュアル：独立行政法人  
土木研究所，社団法人日本アンカー協会：鹿島出版会

例

グラウンドアンカーの頭部コンクリートに浮き上がりやズレが生じている場合、PC鋼材の損傷や地盤の変状などが生じ、グラウンドアンカー引張力に影響が生じている可能性も考えられる。



出典：グラウンドアンカー維持管理マニュアル：独立行政法人  
土木研究所，社団法人日本アンカー協会：鹿島出版会

例

グラウンドアンカー定着部から漏水や析出物が生じている場合、定着部の内部や土中でPC鋼材が腐食し、グラウンドアンカー引張力に影響が生じている可能性も考えられる。

例

備考

・吊り材は、桁を懸垂するための部材で、補剛桁の死荷重や補剛桁に作用する活荷重等の荷重を吊橋では主ケーブルに、アーチ橋ではアーチリブに伝達する部材である。  
 ・吊り材の破断にともない、支持していた荷重や衝撃の影響がその他の吊り材に影響を与えることで、ケーブル構造のバランスが崩れたり他の部材や吊り材の損傷につながるなど、橋全体の安全性に影響を及ぼす可能性がある。

・ 吊り材の代表的な例としては以下が挙げられる。

・ ワイヤ形式の例



・ 鋼製ロッドの例

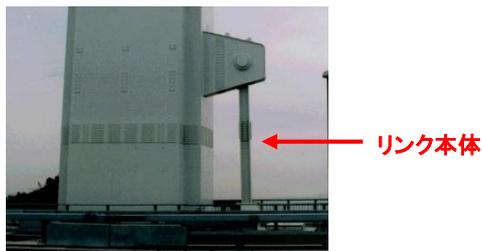


・ PC鋼棒の例



ステンレスの管で保護されている

・ タワーリンクの例



塔位置で塔から直接桁を吊る機構で、大型の鋼板を用いた「両ピン」部材が一般的である。

・ その他、様々な種類のものがある。

備考

■吊り材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、防食仕様なども異なる。状態の把握にあたっては、吊り材の種類を特定してその特性や構造を把握した上で、耐荷性能や耐久性等に関わる異常やその徴候の有無を的確に判断する必要がある。

- ・ステイ材、耐風索は吊橋の風による振動を抑制するための部材である。
- ・振動抑制のために設置されたステイ材や耐風索のゆるみや破断は、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がある。

- ・ステイ材、耐風索の代表的な例としては以下が挙げられる。

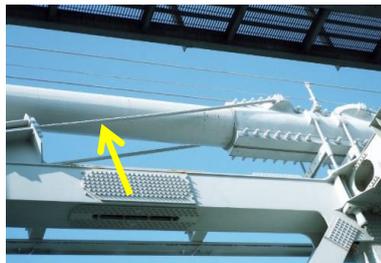
- ・ステイ材（主ケーブルと桁を斜めに連結する部材）の例

センターステイ

鋼製ロッド



より線(亜鉛めっき+塗装)



- ・耐風索（桁を斜め下方向に引っ張ることで上方向に引っ張るハンガーと共同して桁の動きを抑制する部材）の例



- ・その他、様々な種類のものがある。

備考

■ステイ材や耐風索の損傷（破断、ゆるみ）は橋の各部の疲労耐久性の低下に繋がる可能性があるため、破断、腐食等による能力低下、弛緩による能力低下などが生じていないか確認する必要がある。



例

ケーブルタイプのハンガー表面に腐食が生じている場合、内部の鋼材も腐食し、荷重伝達機能に影響を与えている可能性もある。  
ハンガーは振動や雨水の流下・滞留によって厳しい腐食環境となることが多く、表面の腐食状況を確認するのみならず内部の腐食の発生についても注意が必要である。



例

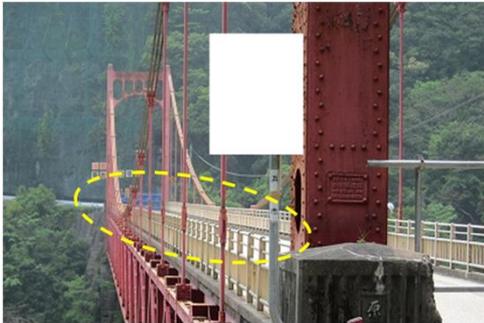
吊橋のハンガーのケーブル表面に局所的な腐食が生じている場合であっても、内部に断面減少を伴う著しい腐食が生じ、荷重伝達機能に影響を与えている可能性もある。  
ワイヤでは、表面の腐食状況を確認するのみならず内部の腐食の発生についても注意が必要である。



例

吊橋のハンガーのソケットに防食機能の劣化や腐食が生じている場合、ソケットやハンガー内部へ雨水の浸入が生じ、腐食が進行している可能性もある。

備考



例

吊橋のハンガーの鋼製ロッドのねじ部で亀裂が生じている事例。  
 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、橋全体の安全性に影響を与える可能性もある。  
 塗装が劣化し塗膜割れが発生している場合などは亀裂などの損傷を容易に発見することが難しくなる。  
 なお、鋼製ロッドのねじ部は、締め込みで塗装が損傷しやすいなど、防食の弱点となる可能性が高い。



例

吊橋のハンガーの鋼製ロッドに破断が生じている場合、橋全体の安全性に影響を与える可能性もある。  
 ロッドのねじ部は応力集中による亀裂が生じやすい部位であり、風や活荷重による振動、応力変動がある場合ほど亀裂が生じやすくなる。防食機能の低下や腐食を生じているとさらに亀裂が生じやすくなることに注意が必要である。



例

吊橋の耐風索に破断が生じている事例。  
 制振対策のために設置された耐風索のゆるみや破断が生じている場合、耐風安定性の低下や橋の各部の疲労耐久性の低下につながる可能性がある。

備考



例

アーチ橋の吊り材に腐食による断面欠損が生じている事例。  
 保護管の継ぎ目などに水の浸入の疑いがある変状がある場合は、既に内部鋼材の腐食により断面欠損等が生じ、引張力に対する耐荷力が低下している場合もある。  
 施工不良や劣化等により保護管と鋼材の間に隙間があり、保護管の継ぎ目での防水処理等が不十分な場合や劣化しやすい材料を用いている場合は、水の浸入が生じやすく、内部の鋼材に腐食が生じる場合がある。特に下部は、保護管内部に浸透した雨水等が流下して溜まり、鋼材に著しい腐食が生じる場合がある。  
 保護管の内部を直接確認できない場合は、保護管の損傷や保護管からの漏水がないかなど周囲の状況から内部の状況を推測する必要がある。



例

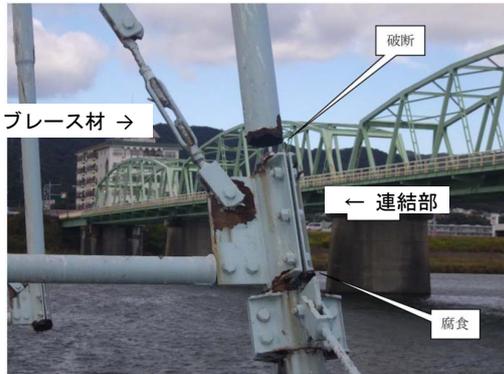
アーチ橋の吊り材（鋼管）固定金具部近傍で吊り材に腐食や断面欠損、破断が生じている場合、既に引張力に対する耐荷力が喪失しており、橋全体の安全性に影響が生じている場合もある。  
 固定金具部及びその近傍は、吊り材を流下する水などが堆積しやすいだけでなく、吊り材が振動する場合などに塗膜に損傷が生じ、局所的に著しい腐食が生じる可能性もある。

備考

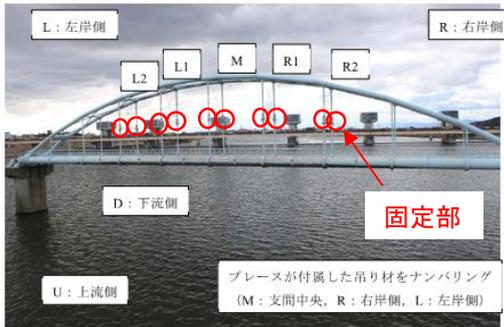
■保護管や留め具などにステンレスなど異種金属を用いている場合には、異種金属接触による著しい腐食が鋼材に生じるおそれがある。この場合、同構造の他の部材にも同時多発的に腐食が生じる可能性があるため注意が必要である。



吊り材 ↓



ブレース材 →



破断

例

アーチ橋の吊り材に腐食、破断が生じ、落橋した例。吊り材途中に固定部があると、吊り材を流下する水などが堆積しやすいだけでなく、吊り材が振動する場合などに防食が傷み、局所的に著しい腐食が生じ、引張力に対する耐荷力が低下することがある。部材の交差部は死角になりやすいため、近接して状態を確認する必要がある。腐食による耐荷力への影響を把握するためには、吊り材の治具を外し、治具内部の吊り材の状態を確認することも必要に応じて検討する。

備考



例

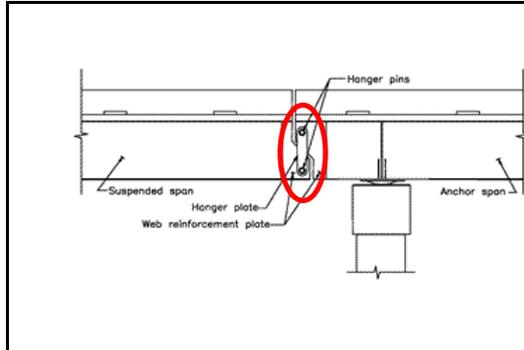
アーチ橋の吊り材のコンクリート埋め込み部に漏水やひびわれが生じている事例。埋め込まれている部分は、隙間やひびわれなどの変状が生じやすく、それらが内部鋼材損傷の原因となる場合がある。漏水状況などから外観目視できない埋込部内部の損傷も推定する必要がある。



例

ターンバックルの破断事例（再掲）。腐食等によりターンバックル内部に水の浸入や滞水が生じると、内部から腐食が進展し、引張力に対する耐荷力の低下、破断等による耐荷力喪失に至る場合もある。

備考



例

・ピンハンガーの構造例

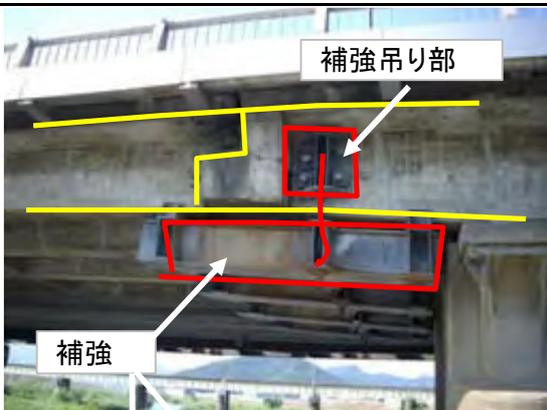


例

・ピンハンガーの疲労亀裂による落橋事例（マイアナス橋）

出典：

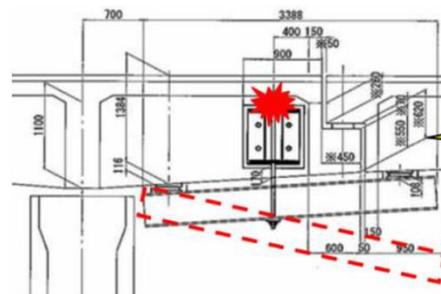
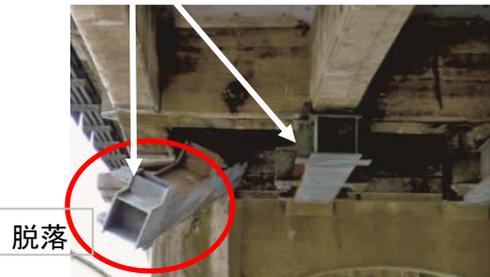
<http://35wbridge.pbworks.com/w/page/900718/Mianus%20River%20Bridge%20Collapse>



例

ゲルバーヒンジ部補強吊り部材が脱落した事例。

活荷重等の繰返し作用の影響等により吊り鋼材に亀裂が生じ、破断する可能性もある。補強部材に期待する機能が低下、喪失すると橋全体の構造安全性に影響を及ぼす可能性もある。



備考



## 例

外ケーブル補強工法の定着部にプレストレス力によりひびわれが生じている場合、既設部材との定着構造にも影響が生じ、所定のプレストレスが導入されないことで補強効果が発揮されず、耐荷力の低下につながる可能性もある。

定着部自体のひびわれや亀裂、腐食などの他に、既設部材からの浮き上がりやズレがないかなどを確認することも重要である。



## 例

外ケーブル補強工法の鋼製の定着部に腐食が見られる場合、定着部から内部に腐食因子が侵入し、接合部の耐荷力が低下し、所定のプレストレスが導入されないことで補強効果が発揮されず、既設部材の耐荷力の低下につながる可能性もある。

水を浸入させない構造となっているか、滞水しやすい構造となっていないかなど、内部への腐食因子の影響を推定する必要がある。



## 例

外ケーブル補強工法の定着具の保護カバー内の防錆油等の充填材が漏出している場合、定着部の鋼材の腐食が進行したり、腐食により所定のプレストレスが導入されないことで補強効果が発揮されず、既設部材の耐荷力の低下につながる可能性もある。



## 例

外ケーブルの偏向部にひびわれが生じているなど損傷している場合、外ケーブルに角折れが生じたり、所定のプレストレスが導入されないことで補強効果が発揮されず、既設部材の耐荷力の低下につながる可能性もある。

## 備考

■外ケーブル補強工法では、定着部や偏向部を設ける既設部材にもプレストレスにより複雑な応力が発生するため、新設部、既設部双方の耐荷性能や耐久性が保たれていることを確認する必要がある。

・ドウルックバンド橋では鉛直PC鋼材の破断にともない、支持していた荷重や衝撃の影響がその他のPC鋼材に影響を与えることで、他のPC鋼材の損傷につながる。荷重支持機能を喪失すると、端支点で橋体が浮き上がり、橋全体の安定性に影響を及ぼす可能性がある。



※写真は中央ヒンジを有する橋梁に異常なたわみが生じている事例。

例

ドウルックバンド橋の支間中央付近に異常なたわみが生じている場合、PC鋼材が損傷し、引張力に対する耐荷力が低下している可能性もある。詳細な状態の把握の実施を検討するなど慎重な評価が必要となる。



浮き上がりが無いか確認する

例

ドウルックバンド橋の端支点部に浮き上がりが生じている場合、PC鋼材が損傷し、引張力に対する耐荷力が低下している可能性もある。詳細な状態の把握の実施を検討するなど慎重な評価が必要となる。

例

例

備考

■ 支承周辺等、狭隘部の点検では手鏡等を用いて目視することも有効である。



全景写真



橋台前面の錆

## 例

鉛直PC鋼材の破断によって、主桁端部が浮き上がり、路面に段差が生じた事例。  
 鋼材が直接確認できない場合であっても、支間がアンバランスな構造の場合は、鉛直PC鋼材で橋台に定着されている構造である可能性を疑うのがよい。  
 橋台前面に錆汁や滞水が確認される場合、鉛直PC鋼材が損傷し引張力に対する耐荷力が低下している場合もある。  
 詳細な状態の把握の実施を検討するなど慎重な評価が必要となる。

## 備考

- 鋼材が見えない場合には、鋼材の様子を直接確認することも検討する。
- 既往の調査例では、非破壊検査では破断位置の特定などが困難であった例もあり、調査の計画、計測結果の評価・活用にあたっては、調査目的に応じた適切な検討、考察が必要になる。
- 調査のためにコンクリートを削孔するにあたっては、PC鋼材の突出の可能性を考慮して、削孔の位置や向きを検討するのがよい。



例

ドウルックバンド橋の端支点部において、鉛直PC鋼材の露出部が腐食、断面減少している場合、既に引張力に対する耐荷力が低下している。

PC鋼材はゴムや樹脂などの被覆により腐食に対して防食されている場合が多い。直接PC鋼材が目視できる場合は、腐食が生じていないかどうか確認する必要がある。ノギスなどで断面の減少を直接確認することも有効である。

被覆等により直接目視できない場合は、滞水しやすい構造となっていないかどうか、被覆に損傷が生じていないかどうかなど、水の浸入の可能性について確認し、内部鋼材の腐食の可能性について推定する。



被覆開封前



被覆開封後

例

ゴム被覆で防食された鉛直PC鋼棒の腐食が確認された事例。

他の鉛直PC鋼棒に腐食・破断が生じており、被覆が残っているPC鋼棒を開封すると腐食が確認された。

鉛直PC鋼材が複数本配置されていたとしても、それらが同様の腐食環境におかれている場合は、腐食が同時に進行する可能性があることに注意が必要である。

備考



例

ドウルックバンド橋の水平PC鋼材が桁内に定着されている事例。  
 桁内にひびわれが生じている場合、ひびわれから内部に水が浸入し、内部鋼材の腐食が生じる可能性もある。



※写真はドウルックバンド橋の箱桁内の状態。

例

床版に貫通ひびわれが生じ、桁内へ漏水している事例。  
 コンクリート桁の桁内へ水が浸入している場合、環境が改善されないと桁内部からの水の浸入により、PC鋼材の腐食が生じる可能性もある。



※写真はドウルックバンド橋の定着部付近の舗装の状態。異常は見られない。

例

ドウルックバンド橋のPC鋼材の定着部が桁上縁に設けられている場合で、舗装の状態や橋面からの水の浸入の疑いがある場合は、桁内部のPC鋼材に腐食が生じている可能性もある。

例

備考