

参考資料 3

引張材を有する道路橋の損傷例

参考資料 3. 引張材を有する道路橋の損傷例

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	参 3-1
2. 定期点検の留意事項	参 3-7

1. 引張材を有する道路橋の構造形式の例

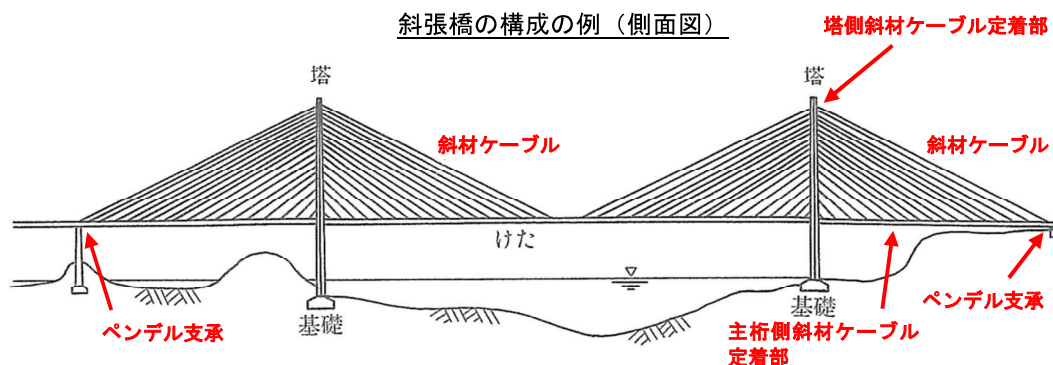
道路橋の中には、引張材に破断等が生じることで、橋全体が致命的な状態に至る可能性や、橋全体の挙動に大きな影響を与えることが懸念されるものがある。例えば、以下の部材を有する橋はこれに該当すると考えてよい。

- 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。

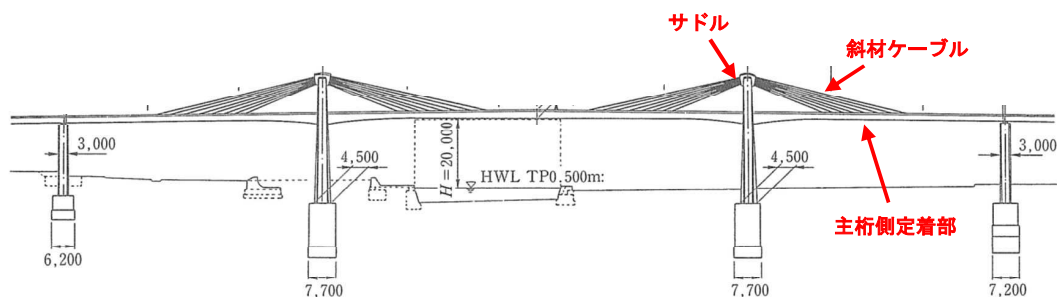
1-1) 斜張橋, エクストラドーズド橋

斜張橋の構成の例（側面図）



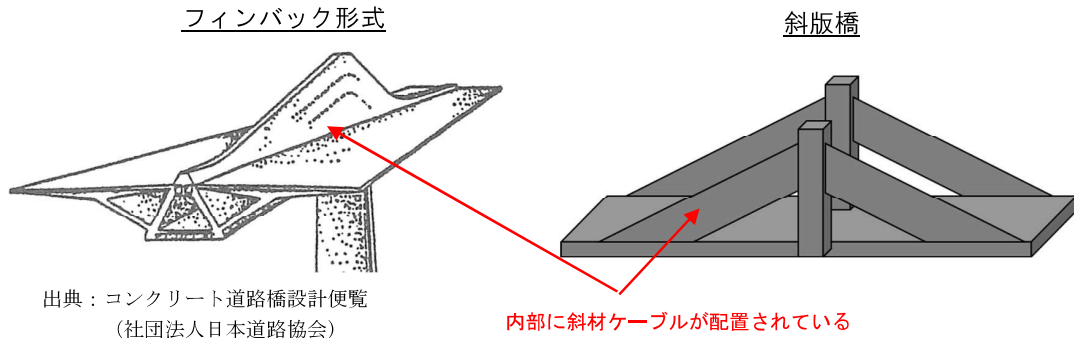
出典：コンクリート道路橋設計便覧（社団法人日本道路協会）

エクストラードボード橋の構成の例（側面図）



出典：コンクリート道路橋設計便覧（社団法人日本道路協会）

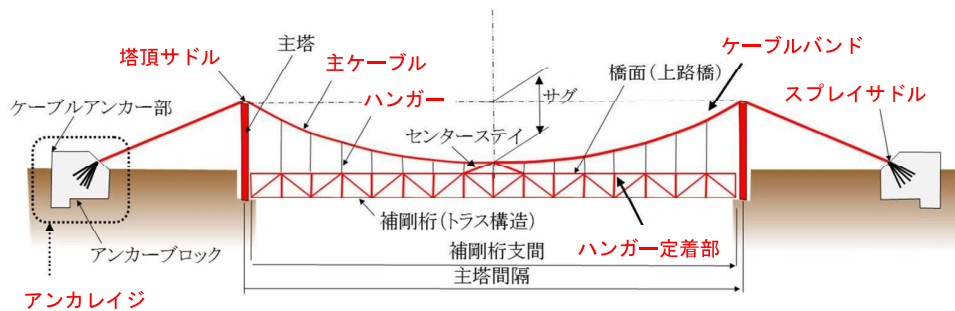
その他の構造形式



- 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

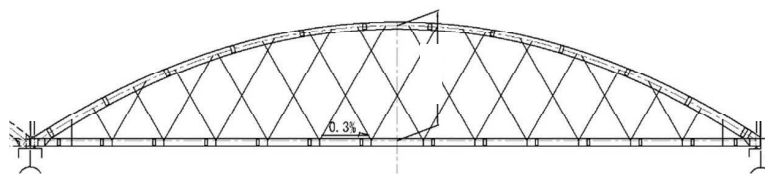
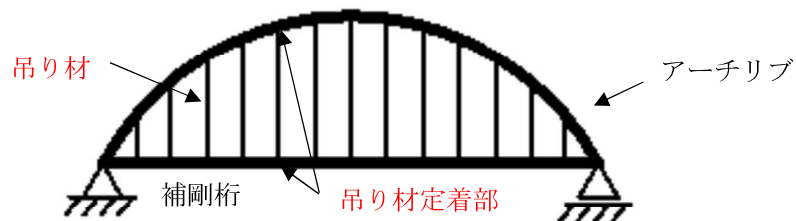
吊橋の構成の例（側面図）



- 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

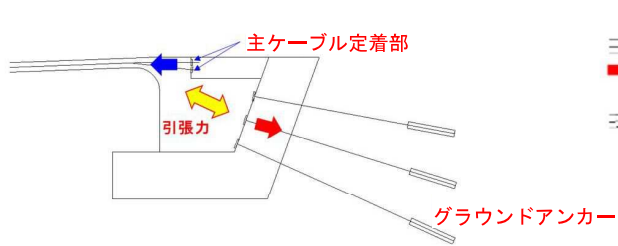


直路式吊床版橋

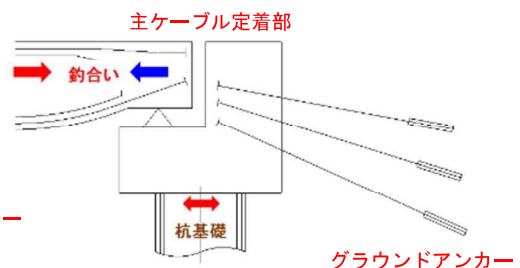


上路式吊床版橋

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/>

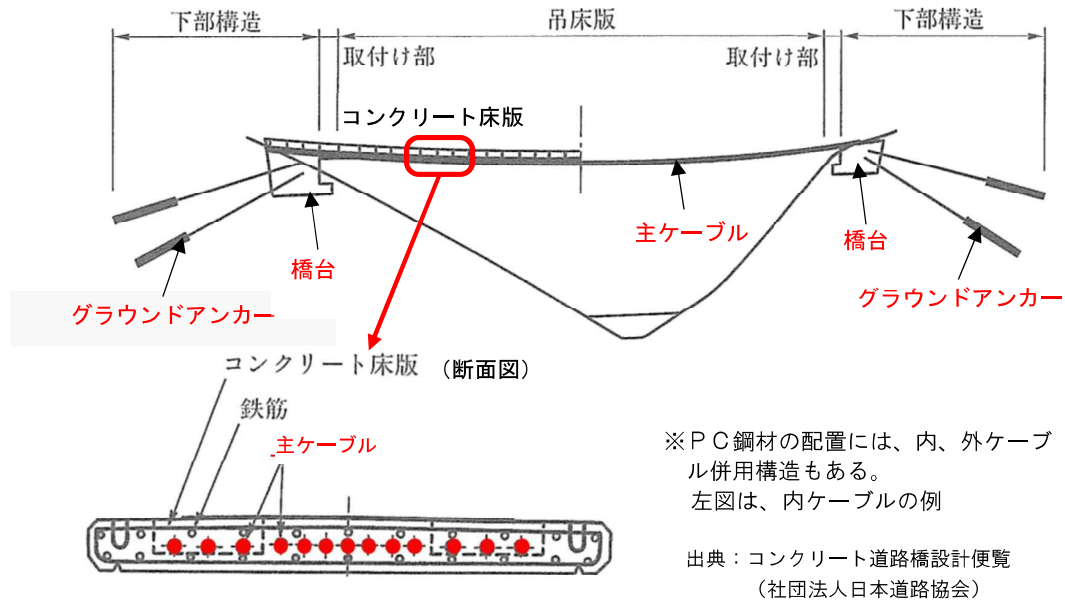


他礎式の定着構造



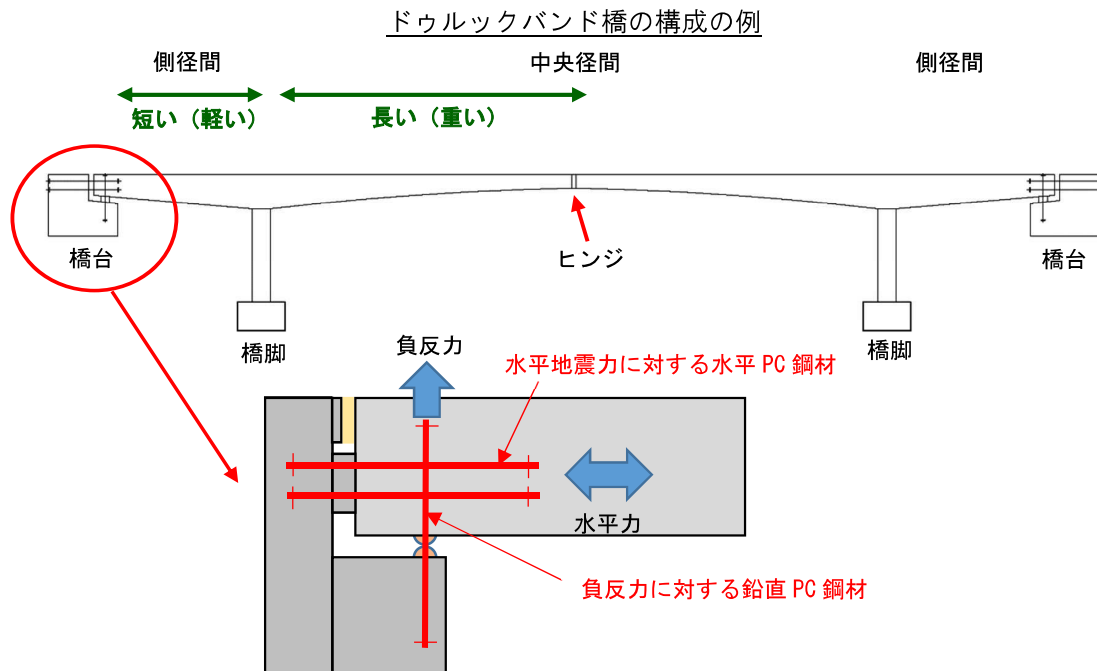
自礎式の定着構造

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定着部
- 3) 1), 2) の挙動に影響を与える部材：橋台

1-5) ドウリックバンド橋



- 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）



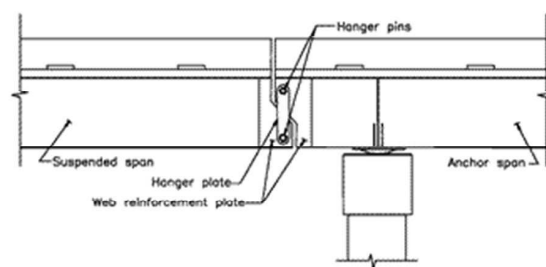
鋼橋の外ケーブル補強の例

- 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



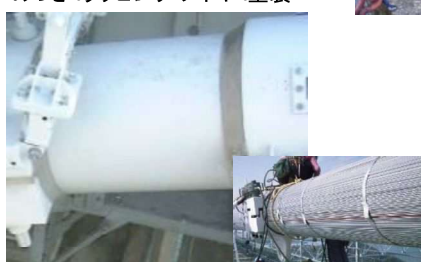
・ ロックドコイルの例

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。

ケーブル		2 / 4 6
	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		

ケーブル		3 / 4 6
	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。
※写真は吊床版橋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。
※写真はPC桁下面のひびわれ事例		
ハツリ前  ハツリ後 	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。
※写真はPC桁下面のひびわれ事例		
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。	

ケーブル		5 / 4 6
	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どう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。		

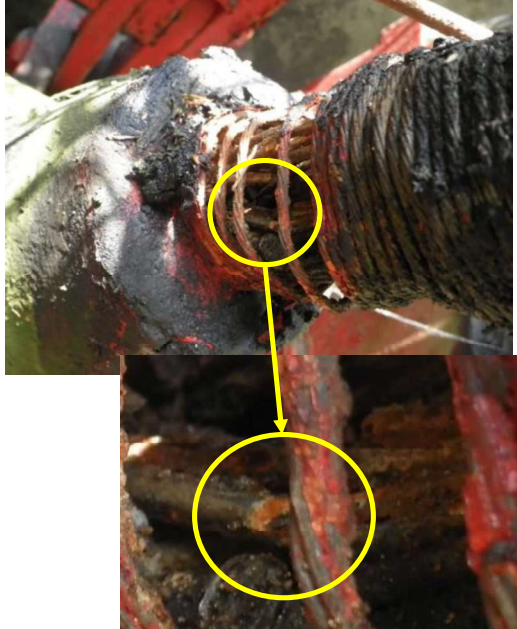
ケーブル		6 / 4 6
		例 主桁側定着部の付近での点検事例。 場合によっては、保護カバーをはずして、水の浸入や滞留、内部の腐食状況について確認することが有効な場合もある。
		例 斜張橋の斜材ケーブルに異常なたわみが生じた事例。 地震などによりケーブルに異常なたわみが生じている場合、異常が生じたケーブルだけではなくその他のケーブルも含めて、ケーブル張力に異常が生じていたり、その他の場合に影響を及ぼしている可能性もある。
		例 斜張橋の斜材ケーブルの被覆に損傷が生じた事例。 斜材ケーブルの場合、ポリエチレンなど被覆により腐食に対する防食が施されていることから、被覆の損傷等、主ケーブル内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	

ケーブル		8 / 4 6
		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		

ケーブル		9 / 4 6
	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。		

ケーブル	10 / 46	
	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。	

ケーブル		11 / 46
 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

ケーブル定着部		15 / 46
	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。		