

斜材システムの維持管理に関する現状と今後の課題

中日本高速道路(株)	正会員	博士(工学)	○酒井	秀昭
神鋼鋼線工業(株)	正会員	博士(工学)	白濱	昭二
神鋼鋼線工業(株)	正会員		細居	清剛

キーワード：斜張橋，エクストラードボード橋，斜材システム，維持管理

1. はじめに

主桁，塔，斜材から構成される斜張橋やエクストラードボード橋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，斜張橋やエクストラードボード橋の高耐久化や安全性の確保には必要である。また，鉛直荷重を桁がより多く分担するエクストラードボード橋に対して，斜材がより多く分担する斜張橋においては，その重要度は特に大きい。斜材は，その保護と防錆のために保護管に覆われていることが一般的であり，通常の見視点検を主とした検査が困難であるのが現状である。このような状況で，斜材の検査がどのように行われているか，どのような問題点があるかを把握しておくことが重要である。本報告では，斜材システムのタイプやタイプ毎の特徴および維持管理方法の違いなどを整理し，斜材システムの維持管理に関する現状と今後の課題について報告する。

2. 斜材システムの現状

斜材システムは，斜材および斜材定着具で構成され，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。主な斜材システムを表-1に示す。

2.1 斜ケーブルの種類

斜ケーブルには，ワイヤロープ，平行線ケーブル，PC鋼より線，PC鋼棒がある。現在は，平行線ケーブルとPC鋼より線が広く使用されている。ワイヤロープは吊橋に多く使用されてきたケーブルであり，スパイラルロープとロックドコイルロープが一般的に用いられてきたが，平行線ケーブルに比べて強度とヤング係数が低下するため，斜張橋などには近年は使用されていない。PC鋼棒は，斜ケーブルに使用した例は少ない。

2.2 斜材の防食

斜材の防食方法として，かつてはワイヤラッピング+塗装が一般的であったが，その後，保護管+充填材が使用されるようになった。現在では，工程上不利なグラウト注入作業を省略できる工場製作の一括押出ポリエチレン(PE)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。防食方法として鋼材表面に亜鉛めっきを施すのみという一重防食の場合もあるが，一般には鋼材表面の防食に加えて，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することが多い。以下に主な防食方法を示す。

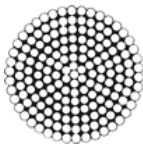
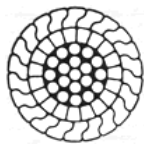
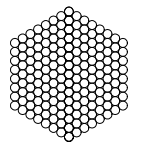
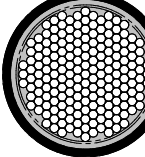
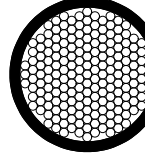
(1) 斜ケーブルの鋼材の防食

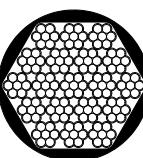
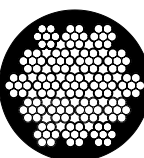
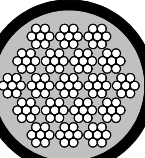
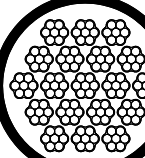
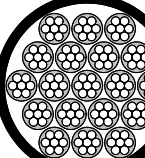
斜材を構成する鋼材の防食方法としては，亜鉛めっき，エポキシ被覆，ポリエチレン充填密着被覆，亜鉛めっきに防錆剤を塗布しポリエチレン被覆を行う方法などがある。

(2) 鋼材を束ねた斜材全体の防食

鋼材を束ねた斜材全体の防食方法としては，表面に塗装を行うもの，防食した鋼材を束ねて防錆ペー스트を塗布し亜鉛めっきした軟鋼線でラッピングしてさらに塗装を行うもの，防食した鋼材を束ねてFRPで表面を被覆するもの，鋼材を保護管で被覆し空隙に充填剤(セメントグラウト，ポリブタジエ

表－1 主な斜材システム

斜ケーブル種類	ワイヤロープ		平行線ケーブル		
	スパイラルロープ	ロックドコイルロープ			
鋼材防食方法	亜鉛めっき	亜鉛めっき	亜鉛めっき	亜鉛めっき、裸線	亜鉛めっき
ケーブル防食方法	無塗装（塗装もあり）	無塗装（塗装もあり）	ラッピング＋塗装、FRPカバリング	保護管＋充填材	一括押出PE被覆
斜材断面					
主な適用定着方法	亜鉛合金鑄込み定着	亜鉛合金鑄込み定着	亜鉛合金鑄込み定着	亜鉛合金鑄込み定着 平行線新定着	平行線新定着
製作システム	工場製作斜材システム	工場製作斜材システム	工場製作斜材システム	工場製作斜材システム	工場製作斜材システム

斜ケーブル種類	PC鋼より線				
鋼材防食方法	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
ケーブル防食方法	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					
主な適用定着方法	くさび定着	圧着定着	くさび定着	くさび定着	くさび定着
製作システム	セミプレファブシステム	工場製作斜材システム	現場製作斜材システム	現場製作斜材システム	現場製作斜材システム

ン)を注入するもの、防食した鋼材を束ねて製造工場で一括してポリエチレンの押出被覆を行うもの、防食した鋼材を束ねて保護管で被覆したものなどがある。

2.3 定着方法

(1) 亜鉛合金鑄込み定着

内面がテーパ形状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。

(2) 平行線新定着

亜鉛合金鑄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、大規模斜張橋での実績が多い。

(3) 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。一般の桁内ケーブル用くさび定着具は他の定着具に比べて疲労強度が劣るが、くさびの形状やケーブルに作用する応力緩和などの改良により斜材への適用が可能になった。

(4) 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、海外での使用例は無い。

2.4 斜材システムの製作と架設

斜材システムは、製作方法や架設方法により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、その両方の特徴を持ったセミプレファブケーブルもある。

工場製作斜材システムは、製造工場で斜ケーブルに定着体の取り付けを行った斜材システムであり、斜ケーブルとしてワイヤロープおよび平行線ケーブルを使用した場合は、全て工場製作斜材システム

となる。架設は一般に、ケーブル本体をクレーンにより直接吊り込むか、ガイドワイヤとウインチを用いて引き込む方法が用いられる。

現場製作斜材システムは、保護管と斜ケーブルが分割された斜材システムである。斜ケーブルとしてはPC鋼より線が使用され、防食処理されたPC鋼より線を用いたノングラウトタイプや、PC鋼より線を用いて保護管内にグラウトするタイプのものがある。架設方法は、保護管を架設後に斜ケーブルを1本ずつ保護管内へ挿入する場合と、橋面上で接続された保護管内にあらかじめPC鋼より線をすべて挿入し、定着体をセットする方法がある。

セミプレファブケーブルは、亜鉛めっきPC鋼より線およびPE被覆PC鋼より線を用いた斜ケーブルに、製造工場で一括押出PE被覆を行ったものである。防食処理を施された斜材として現場に搬入され、定着具は現場でセットされる。

3. 斜材システムの点検方法と変状事例

斜材システムの点検を効率的に実施するための点検ポイントと調査方法および変状事例について述べる。

3.1 点検ポイントと変状

(1) 塗装

ケーブルに塗装を行った場合、塗膜にはケーブルの振動や伸び、変形などに伴う繰り返しひずみが生じる。また、塗膜は一般に高分子化合物で構成されているため、化学的劣化と紫外線、酸素、熱などが複合的に作用して劣化する。これらの要因によって塗膜に割れが発生し、割れがケーブル表面に達すると、大気中の水分や酸素がケーブル表面に浸入していく場合もある。

1962年に建設されたMaracaibo橋においては、ロックドコイルロープに腐食が進行して1979年には3本のロープが完全に破断した。ケーブルは亜鉛めっきされたロープ素線に塗装を行っていたが、不適切な保守、塗装や点検時に取り外したゴムブーツを取り外したままにしたため、暑い海洋性気候により湿潤雰囲気になったことが原因とされている。

(2) 保護管および被覆

保護管や被覆材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、車両の衝突などの外的作用によって、保護管・被覆のひび割れ、圧痕、えぐれや鋼線の露出が発生する場合がある。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多く見られるため、注入口の溶接部は注意して点検を行う必要がある。

PE保護管にグラウト注入を行ったアルゼンチンのZarate-Brazo Largo橋では、グラウト注入後に保護管に縦方向の亀裂が発生したことが報告されている。その原因は高温のグラウトにより保護管に大きなひずみが生じ、グラウト硬化後に保護管が冷却され、保護管に大きな応力が生じた結果だとされている。

(3) 充填剤

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。また、供用中のケーブルの振動やグラウトの乾燥収縮によりグラウトにクラックが発生し、それが鋼線のフレッチング腐食につながる可能性もあ

る。これらの変状は、保護管や被覆材が外見上健全であっても、その内部で生じるものであるから、点検の際には注意が必要である。

(4) 定着部周辺

斜材定着部の構成例を図-1に示す。斜材定着部周辺は、種々の材料で構成されており、その一部が変状すると、内部に水分が供給され鋼材が腐食したり、鋼材が疲労破壊したりする恐れがあるので、斜材定着部周辺に変状が発生した場合は、点検により早期に発見する必要がある。国内においても、圧着定着方式の定着部近傍の鋼材が水の浸入により腐食し破断した事例がある。

3.2 点検方法

(1) 目視

点検は、近接目視が基本であるが、アクセスの制限などにより近接が困難である場合は、ポールカメラ、工業用ビデオスコープ、ケーブル検査車、自走式点検ロボット、マルチコプターなどの機器の使用や、ロープアクセス工法によって撮影した動画や静止画を用いて調査を行うこともできる。

(2) 非破壊検査

斜材の腐食や断線を調査する非破壊検査方法として代表的なものが、渦流探傷法と全磁束法である。また、定着体近傍を対象とした非破壊検査方法として、超音波探傷法がある。渦流探傷法は、鉄や亜鉛の断面減少の有無を調査でき装置が軽量で取り扱いが簡便であるが、腐食量の定量的な推定は困難である。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取扱性が悪い。超音波探傷法は、定着体端のワイヤ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である。ボタンヘッド加工を施す平行線新定着法で海外の2～3件の橋梁に適用された例がある。

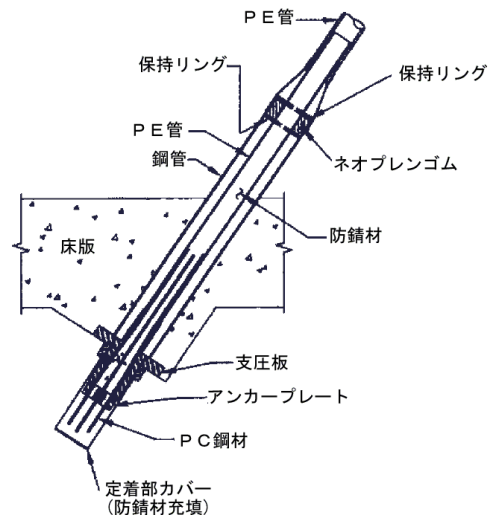


図-1 斜材定着部の構成例

4. 斜材システムの維持管理の今後の課題

斜材システムの維持管理の今後の課題は以下のとおりである。

- 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が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、鋼材の防錆材などが経年劣化により変状が発生している恐れが高いため、過去の変状事例も参考に十分な点検を行う必要がある。
- ③斜材の維持管理にあたっては、詳細な知識が必要となるので、維持管理方法を規定した規準を早期に整備するとともに維持管理技術者の育成を図る必要がある。
- ④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ので、効率的な点検が可能な非破壊検査機器を開発する必要がある。

5. あとがき

国内の斜材システムを有するコンクリート構造および鋼構造の斜張橋やエクストラードード橋は、500橋を超えるものと推定される。これらの橋梁を、効率的に維持管理して高耐久化を図ることは橋梁技術者の責務であるので、前述の課題を速やかに解決することが必要になると思われる。