

状態把握が困難な道路橋部材の劣化損傷リスクを把握するための取組み

坂本佳也・小野健太・上仙 靖

1. はじめに

我が国の道路橋の点検は、省令・告示に従い5年に1回の近接目視を基本に状態の把握を行い健全性の診断を行うこととなっているが、道路橋を構成する部材の中には近接目視による状態の把握が困難なものもある。また、部材の状態が把握できた場合においても、劣化損傷の程度と橋の構造安全性の関係が明らかではなく、劣化損傷を踏まえた措置の判断は個々に行うことになる。したがって、道路橋の中には意図せず劣化損傷リスクを保有しうる橋が存在する可能性があり、適切な維持管理を行ううえでは劣化損傷リスクを把握することが不可欠である。構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）では過年度から既設橋の状態把握手法や劣化損傷した既設橋の状態評価方法に関する検討を進めてきた。本稿では、図-1に示すケーブル部材の状態把握手法と図-2に示す劣化損傷した横断歩道橋（以下「歩道橋」という。）の状態評価方法の提案に向けたCAESARでの取組みとその成果について報告する。



図-1 PE被覆内部の破断したケーブルの例¹⁾



図-2 歩道橋の鋼板の腐食の例

2. ケーブル部材の状態把握に関する検討

道路橋に用いられるケーブル部材には、吊橋の主ケーブルやハンガー、斜張橋の斜ケーブル、アーチ橋の吊材などがある。これらのケーブル部材は径5～7mm程度の鋼線を数百本以上の単位で集束したうえに、防せい防食のために塗装やポリエチレン被覆（以下「PE被覆」という。）などで被覆することが一般的である。特に、PE被覆ケーブルは製作工場内の降雨などの影響が排除できる環境において施工される場合には良好な施工品質が得られやすく、またPE被覆そのものが高い防食機能を有することもあり、良好で長期にわたる防食機能の維持が期待される。一方で、PE被覆そのものは現場での架設中や供用中の飛来物との衝突や擦過、打撃等によって損傷する場合もあることが明らかになっており、その場合ケーブル内部を目視するのが容易でない維

持管理上の課題から、被覆の損傷部からの雨水の浸入などにより、被覆内部のケーブルの発せいや腐食、さらには破断に至った例も報告されている。

本研究では道路橋に一般に用いられるPE被覆ケーブルを対象として、PE被覆に何らかの損傷が生じた場合に、雨水等の浸入によりPE被覆内部のケーブル素線の腐食が生じうるかどうかをPE被覆ケーブルの内部の温湿度環境から推定する手法が構築できるかどうかを主眼に検討した。検討においては、これまでほとんど把握されていない実際のPE被覆ケーブル内部の温湿度変化を把握するとともに、その変化の特徴を明らかにすることを試みた。

検討に用いるケーブルは、実際に供用している斜張橋で交換のために撤去した図-3に示すPE被覆ケーブル（以下「撤去ケーブル」という。）である。撤去ケーブルは、片側は工場でのケーブル製作時に施工された定着部のままで、他方は撤去時に切断した状態であったことから、図-4に示す端部処理を行った。その後、PE被覆の側面にφ10mmでドリル

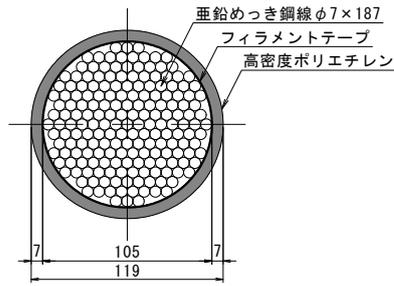


図-3 撤去ケーブルの形状

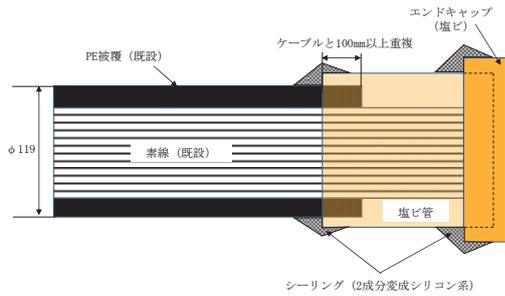


図-4 撤去ケーブルの端部処理の仕様

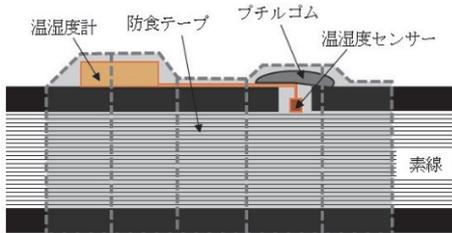


図-5 温湿度計設置概要図

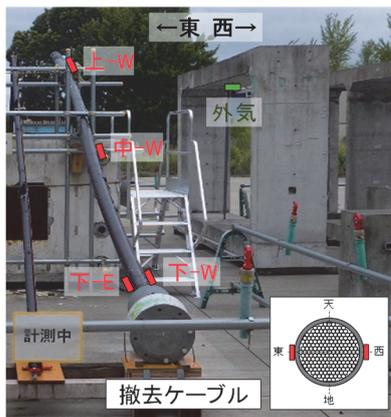


図-6 撤去ケーブル計測箇所図 (赤色箇所)

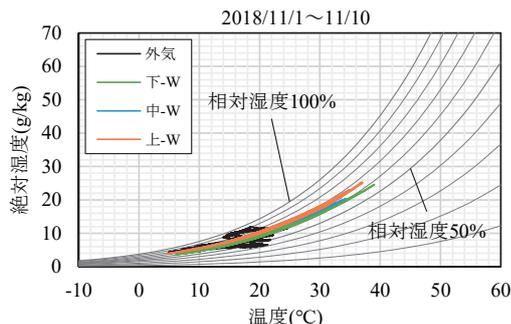


図-7 撤去ケーブル延長方向の計測結果

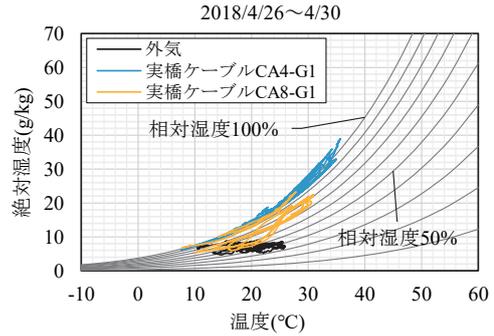


図-8 実橋ケーブルの計測結果



(a) 素線表面の状態



(b) 計測孔の結露状況

図-9 実橋ケーブルCA4-G1の計測孔付近の状況

削孔し、ワイヤレス型の温湿度計を図-5、6に示すように設置した。

図-7にケーブルの延長方向の温湿度の計測結果を示す。なお、本研究では温湿度の絶対値でなく温湿度の履歴に着目するものとし、計測結果を湿り空気線図²⁾上で整理している。

図-7より、温度変化によって絶対湿度が変化しており、これは別途計測した断面方向も同様の傾向である。この結果は、完全に密閉された閉鎖空間で、水分が水蒸気として存在する場合に、水蒸気量は一定すなわち絶対湿度は一定となることと矛盾しており、この原因としてケーブル内部が単純な空洞ではなく密に素線が配置されることで、計測温度と素線間の空隙の温度に乖離が生じ、部分的に素線表面で結露が生じることでケーブル内の絶対湿度が変化している可能性がある。

次に、同様の計測方法で供用中の斜張橋のケーブル（以下「実橋ケーブル」という。）で計測を行った結果を図-8に示す。なお、図中の実橋ケーブルCA4-G1及びCA8-G1ともに、異なるケーブルの桁側定着部付近で計測した結果である。図-8より、温湿度の挙動は撤去ケーブルと同様に、絶対湿度が変化している。さらに、CA4-G1では相対湿度が100%RH付近で推移しており、同時計測したCA8-G1に比べて高い湿度環境になることが推測された。この結果は、図-9に示すCA8-G1を含め他のケーブルでは見られなかったケーブル素線表面の軽微な白錆の発生及び計測孔での結露の発生と矛盾がなく、



図-10 実験対象とするデッキプレート

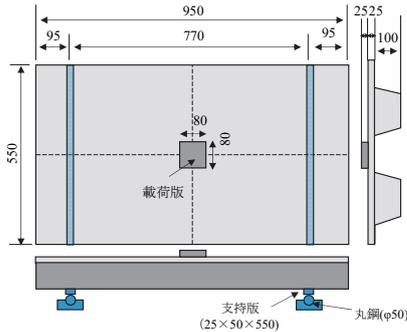


図-11 試験体の形状寸法・载荷条件（単位：mm）



図-12 载荷試験状況

温湿度計測によってケーブル内部が腐食する環境であるかどうかを推定できる可能性があることを示している。

今後は、PE被覆ケーブルの維持管理方法の提案を目的に、種々のケーブル内条件での温湿度計測、温湿度の数値解析など、PE被覆ケーブル内部の状態評価に関する検討を行う予定である。

3. 横断歩道橋の状態評価に関する検討

歩道橋は、これまで標準設計として、厚さ3.2mmの波形状の鋼板にコンクリートを充てんし、その上に敷きモルタルやタイルなどが施工された床版を用いてきた。この構造特性から、床版上面からの漏水などによる鋼板の腐食状態の把握が容易でなく⁴⁾、過去には腐食片の落下により第三者被害に至った例も報告されている。さらに、歩道橋の中には設置から50年以上が経過したものもあることから、今後も同様の劣化損傷リスクを抱えた歩道橋が増加する可能性がある。一方、歩道橋の腐食状態と耐荷性能の関係は明確でなく、適切な診断手法は確立されていない。本研究では、著しい腐食損傷が見られた実際の歩道橋から回収したデッキプレートを用いて载荷実験を行い、腐食性状が耐荷性能に及ぼす影響について検討した。

本研究では図-10に示す撤去した歩道橋デッキプレート（以下「DP」という。）の载荷試験を行った。対象としたDPは腐食の程度や位置等が異なるものを選定し、図-10には各試験体の腐食性状の特徴を

併記している。試験体は歩道橋の床版を模擬してDPに中詰めコンクリート及び敷きモルタルを打設することで製作した。DPは元の母材厚が3.2mm、鋼種はSS400である。また、試験体製作に使用したコンクリート及びモルタルの実圧縮強度はそれぞれ21.2N/mm²、24.5 N/mm²である。図-11には試験体の形状寸法及び载荷条件を示す。支持条件は2辺単純支持とし丸鋼（φ50）に支持版（25mm×50mm×550mm）を載せて、その上に試験体を設置した。試験体中央に载荷版（25mm×80mm×80mm）を設置し、一点集中载荷による押し抜き载荷試験を実施した。図-12には载荷試験の状況を示す。

载荷試験の結果から得られた载荷荷重—鉛直変位関係を図-13、各試験体の最大荷重を表-1に示す。健全試験体では図-13に示すように57.0kN付近で最初の荷重ピークが見られた。荷重ピークの手前では载荷版直下の鋼板の短辺方向ひずみが降伏ひずみに到達したことが計測から確認されており、载荷版直下ではコンクリートに大きな引張応力が加わり亀裂が生じたことで荷重が低下したと考えられる。その後は図-14の破壊性状に示すように、コンクリートは载荷版により押し抜かれており、荷重値に大きな変動は見られなかった。著しい腐食損傷の見られる腐食試験体Aでは図-15に示すように長手方向を横断するコンクリートのひび割れが生じており、ひび割れの発生と共に急激に荷重が低下した。これは、図-10(b)に示す凸部鋼板の消失により、コンクリー

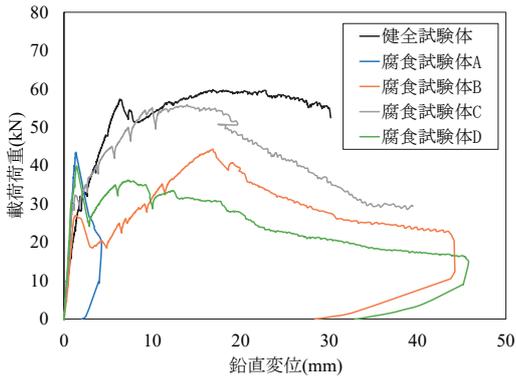


図-13 載荷荷重—鉛直変位関係

表-1 各試験体の最大荷重

	最大荷重 (kN)	最大荷重比
健全試験体	59.8	1.00
腐食試験体A	43.5	0.73
腐食試験体B	44.3	0.74
腐食試験体C	55.9	0.93
腐食試験体D	39.9	0.67

※最大荷重比は健全試験体に対する最大荷重の比である。



(a)57.0kN時 (b)載荷終了時

図-14 健全試験体の破壊性状

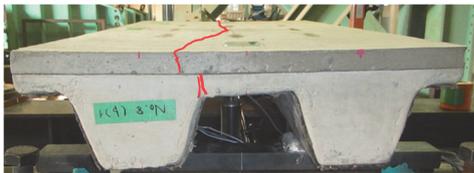


図-15 腐食試験体Aの破壊性状(赤線がコンクリートの亀裂)

トのみでせん断荷重が分担されるため、せん断力によるひび割れが生じたものと推察される。腐食試験体B、Dについても同様のメカニズムにより最初の荷重ピークを迎えたと考えられるが、腐食試験体Aのように凸部鋼板が長手方向全面に渡って消失しているわけではないため、鋼板の残存断面を介して荷重が伝達されることで、以降も荷重が増加したと考

えられる。腐食試験体Cでは健全試験体と比較して大きな耐荷力の低下は確認されなかったが、これは腐食試験体Aのように試験体中央の凸部鋼板の板厚減少が少ないことによるものと考えられる。

著しい腐食損傷が見られる歩道橋DPを対象として、床版を模擬した試験体の製作及び載荷試験を実施することで、腐食位置や程度が耐荷力に及ぼす影響について検討を行った。その結果、腐食損傷によっては最大で7割程度に耐荷力が減少した。なお、実際の歩道橋ではDPの腐食要因と考えられる床版上面からの水の影響などによりモルタル及びコンクリートが土砂化等の様態を示す場合がある。その場合には本実験で示したようなコンクリート強度は期待できず、さらに耐荷力が低下していることが予想される。今後はDPの腐食状態を把握する手法等、歩道橋の点検・診断手法の提案に向けた検討を継続する予定である。

4. おわりに

本稿では、状態把握が困難な道路橋部材の劣化損傷リスクを把握するためのCAESARでの取り組み及びその成果について紹介した。これらの成果は、既設橋の点検・診断・措置のメンテナンスサイクルを回していくうえで不可欠なものである。今後も、既設橋が致命的な状態に至ることのないよう、状態把握が困難な部材の「みえる化」に対応した研究開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 引張材を有する道路橋の損傷例と定期点検に関する参考資料、国土交通省道路局国道・技術課、2019
- 2) 空気調和衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧第14版1基礎編、pp.46、2010
- 3) 坂本佳也、玉越隆史、上仙靖、山本健太郎、峰徳高：PE被覆ケーブルの内部環境の把握に関する研究、構造工学論文集、Vol.66A、pp.419～430、2020
- 4) 現場に学ぶメンテナンス 横断歩道橋の健全性診断の事例、土木技術資料、第60巻、第2号、pp.51～52、2018

坂本佳也



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 研究員
SAKAMOTO Yoshiya

小野健太



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 研究員
ONO Kenta

上仙 靖



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
JOSEN Yasushi