

# 内部充てん型エポキシ被覆 PC 鋼材の実態調査

竈本 武弘\*1・長谷 俊彦\*2・寺田 典生\*3

NEXCO の PC 箱桁橋において箱桁内の外ケーブルとして使用されている内部充てん型エポキシ被覆 PC 鋼材を対象にピンホール試験機を用いて被覆の損傷状況を調査した。

施工時に被覆を傷つけたと思われる損傷が見られ、内部の PC 鋼材が露出し軽微な錆を生じているものがあった。

被覆層の損傷は擦過傷と打痕傷に二分でき、打痕傷の方が内部 PC 鋼材が露出する損傷が多い。損傷数は、建設された年代や桁高の高さ、箱桁内の付属物の量などにより傾向が見られた。発見した損傷は、あらかじめ効果を確認した補修方法で補修を行った。

維持管理段階での点検・検査の必要性を認識したとともに、損傷の傾向から点検・検査の優先度を提案した。

キーワード：被覆 PC 鋼材、ピンホール試験、損傷、補修

## 1. はじめに

NEXCO では、平成 22 年 7 月、構造物施工管理要領<sup>1)</sup>に防錆被覆 PC 鋼材に関する品質管理基準を制定した。防錆被覆 PC 鋼材とは、PC 箱桁橋の箱桁内に外ケーブルとして使用する PC 鋼材で、PC 鋼材の防食を目的に PC 鋼材の表面、内部空隙を樹脂などにより被覆したものをいう。工場内の安定した環境で加工が行われることや、必要な品質検査に合格した鋼材のみを用いることができるため、品質の安定化や施工現場での労力削減を実現できるという利点があり、外ケーブルを標準とした NEXCO の橋梁では使用実績が多い。

構造物施工管理要領では、使用する PC 鋼材が有すべき性能とその照査方法を示したり、施工にあたって留意すべき事項を示したほか、施工完了時にはピンホール試験により全長に渡り被覆材に欠陥がないことを検査し、性能が確認された補修方法により被覆の補修を行うこととしている。

防錆被覆 PC 鋼材は施工中に何らかの原因で被覆層を傷つけてしまうことがあり、被覆層の損傷が PC 鋼材に至ると被覆層に期待する防錆効果が得られず PC 鋼材が腐食する懸念がある。

本文では、本基準の背景となった NEXCO の橋梁におけ

る目視およびピンホール試験での防錆被覆 PC 鋼材の実態調査結果を報告するものである。

## 2. 調査対象 PC 鋼材

箱桁内の外ケーブルに用いられる防錆被覆 PC 鋼材には、表 - 1 に示すように樹脂の種類や被覆層の加工方法などによりいくつかの種類がある。鋼材の特徴に合せた設計、施工に関する指針などが表 - 2 に示すとおり発行され、

表 - 1 防錆被覆 PC 鋼材の例<sup>2~4)</sup>




	①	②	③
外観			
被覆厚さ	400~1200 μm	400 μm	2100 μm
被覆の材質	エポキシ樹脂	ポリエステル系樹脂 ポリエチレン系樹脂	エポキシ樹脂 ポリエチレン樹脂
箱桁内の外ケーブルとしての NEXCO での実績	あり	なし	なし
その他の特徴	内部充てん型	内部充てん型	全素線塗装型 ポリエチレン被覆

表 - 2 防錆被覆 PC 鋼材に関する指針など<sup>5~7)</sup>

名称	エポキシ樹脂を用いた高機能 PC 鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針 (案)	全素線塗装型 PC 鋼より線を使用した PC 構造物の設計・施工ガイドライン	防錆被覆 PC 鋼材の品質・施工管理に関する手引
発行者	(株) 土木学会	(財) 土木研究センター	(財) 高速道路調査会
発行年月	平成 22 年 7 月	平成 22 年 3 月	平成 22 年 2 月
委員長	東京工業大学 二羽淳一郎教授	横浜国立大学 池田尚治名誉教授	埼玉大学 睦好宏史教授
対象鋼材	内部充てん型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材	全素線塗装型エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材	樹脂被覆 PC 鋼材 (樹脂の種類や被覆方法を問わない)

\*1 Takehiro KAMAMOTO : (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員

\*2 Toshihiko NAGATANI : (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 主任研究員

\*3 Norio TERADA : (株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁担当部長

表 - 3 調査対象橋梁

	A 橋	B 橋	C 橋	D 橋	E 橋
完成後経過年数	約 10 年	約 2 年	約 8 年	約 9 年	約 2 年
環境条件	凍結防止剤 散布あり	凍結防止剤 散布なし	河口部	凍結防止剤 散布あり	凍結防止剤 散布なし
調査対象区間延長	約 70 m	約 90 m	約 80 m	約 50 m	約 30 m
調査区間の桁高	4.0 m	4.5 ~ 7.6 m	4.3 m	2.0 ~ 5.3 m	2.8 m



写真 - 1 模範的な施工状況 (B 橋)

適用されている。本調査では、このうち NEXCO の橋梁に実績の多い「①内部充てん型エポキシ被覆 PC 鋼材」を対象とした。

### 3. 調査対象橋梁

調査対象橋梁を、表 - 3 に示す。いずれの橋梁とも箱桁内の外ケーブルに内部充てん型エポキシ被覆 PC 鋼材が使用されている。各橋建設時の施工計画書などによると、被覆 PC 鋼材の挿入方法に違いがあり、A 橋では鋼材を 1 本ずつ挿入し、挿入後東ねて緊張する方法、B、C、D、E 橋では鋼材をあらかじめ東ねた状態で一括挿入し、その後緊張する方法が採用されている。

なお、このうち B 橋では挿入時に鋼材の被覆層が傷つ付かないよう徹底した養生を行ったり監視員を配置したりするなど、現在、模範的と考えられる施工を行っている（写真 - 1）。

### 4. 調査方法

調査方法は、目視および JSCE-E512「エポキシ樹脂塗装鉄筋のピンホール試験方法」<sup>8)</sup> に準じ、束になって配置されている被覆 PC 鋼材の外表面のみを調査した。ピンホール試験における荷電電圧は、文献 9) で被覆厚さ 220 μm ± 40 μm のエポキシ鉄筋に対し 1000 V の荷電を行って

$$\begin{aligned} & \text{荷電電圧 (V)} \\ & = (\text{最低被覆厚み}) \times 1000/220 \times \text{安全率} \quad (1) \\ & = 400 \times 4.55 \times 1.5 = 2730 \approx 3000 \end{aligned}$$



写真 - 2 ピンホール試験状況

ピンホール試験を行うには、被覆内部の PC 鋼線にピンホール試験機のアースを接続する必要がある。本調査では、写真 - 2 の上図のように箱桁内の金属部品（たとえば排水管吊金具など）にアースを接続し試験を行った。いずれの橋梁でもこの方法で被覆の傷の探査ができており、有効な方法であると考えている。



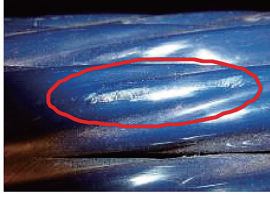

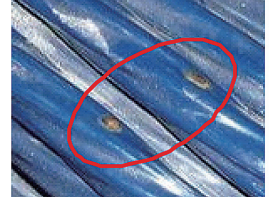

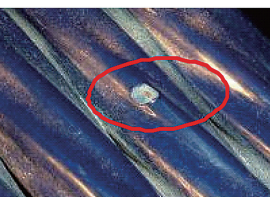



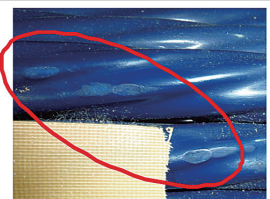





### 5. 調査結果

#### 5.1 損傷の種類

本調査で発見された被覆層の損傷種類を表 - 4 に示す。被覆層の損傷は大きく 2 つあり、ケーブル挿入時に生じたと思われる「擦過傷（こすり傷）」および挿入後の作業時に何かをぶつけて生じたと思われる「打痕傷（ぶつけ傷）」に分けられた。今回の調査範囲内では、A 橋、C 橋では擦過傷、打痕傷ともに一部、PC 鋼材表面が露出し、鋼材表面に錆が生じているものがあった。また B 橋、D 橋、E 橋では、擦過傷による被覆層の損傷は PC 鋼材表面までには至っておらず、被覆層の厚さが薄くなるに留まっていた。



表 - 4 損傷の種類

	A 橋		B 橋	
擦過傷	 鋼材露出, 錆あり	 鋼材露出, 錆あり	 被覆層のみ	 被覆層のみ
打痕傷	 鋼材露出, 錆あり	 鋼材露出, 錆あり	 鋼材露出, 錆あり	 被覆層のみ
	C 橋		D 橋	
擦過傷	 被覆層のみ	 鋼材露出, 錆あり	 被覆層のみ	 被覆層のみ
打痕傷	 鋼材露出, 錆あり	 鋼材露出, 錆あり	 鋼材露出, 錆あり	 鋼材露出, 錆あり

一方、打痕傷は A 橋、B 橋、C 橋、D 橋では局部的に被覆層が破られ、PC 鋼材表面が露出しているものがあり、中には鋼材表面に錆が生じているものもあった。現時点では、錆は鋼材表面に生じているのみであり、鋼材断面をおかすものではなかった。しかし、本調査の範囲では E 橋には打痕傷が発見されなかった。

### 5.2 損傷箇所の傾向

いずれの橋梁とも、擦過傷の生じていた箇所には特段の傾向はなく、全体的に散見された。一方、打痕傷の生じていた箇所は、写真 - 3 に示すような横桁付近に多かった。これは、横桁付近には作業用単管足場が設置されることが多く、PC 鋼材配置後、作業足場を撤去する際に足場用単管端部をぶつけてしまうことが原因と推測される。

### 5.3 損傷の数量

本調査で発見した損傷のうち鋼材が露出していた損傷の数量を表 - 5 に示す。本調査はかざられた範囲内での調査であるが、A 橋では、約 70 区間に 20 箇所程度 PC 鋼



写真 - 3 打痕傷の多い箇所 (A 橋の例)

材表面にまで被覆層の損傷が及んだ打痕傷があった。一方、B 橋、C 橋ではすでに施工後、部分的に損傷の補修が行われていた (写真 - 4) ため施工時に生じた損傷の全

## ○ 調査報告 ○

数量は把握できなかった。しかし PC 鋼材表面にまで被覆層の損傷の及んだ打痕傷が数箇所、補修されていない状態で残っていた。



写真 - 4 補修済みの箇所 (B 橋の例)

A 橋を除く橋梁では、施工時にケーブルをまとめてから挿入していることから、束になったケーブルの内側に損傷が入ることは考えがたく、損傷は外側だけに存在すると思われる。しかし、ケーブルを 1 本ずつ挿入した A 橋では、挿入時に被覆層に付いた傷が束となったケーブルの内側に残っている可能性が高い。内側に残った損傷の調査は現時点では行うことができず、大きな課題として残っている。

D 橋では、すでに補修を施したと思われる箇所は見当た

らず、施工時に生じた損傷はほかの橋梁と比べ数量が少なかった。また、E 橋では、すでに補修された箇所がいくつかあったものの、打痕傷がまったく見られなかった。この理由として D 橋、E 橋は桁高が低く、さらに E 橋は箱桁内に排水管などの付属物が設置されていないことから、箱桁内での作業時に単管足場などを設置することが少なく、足場撤去作業など防錆被覆 PC 鋼材の被覆層に損傷を与える可能性のある作業量が少なかったことが考えられる。

### 5.4 損傷の補修

本調査で発見した被覆層の損傷のうち、PC 鋼材表面まで達していた傷については、その場で PC 鋼材表面の錆をやすりで除去した後、メーカー指定の補修方法により補修を行った。

この補修方法に対しては本調査とはべつに NEXCO 総研にて、あらかじめエポキシ樹脂被覆 PC 鋼材の被覆層に傷をつけ、メーカー指定の補修を施したものと被覆層をけずり被覆厚を薄くしたものなどに対し、文献 4) を参考に表 - 5 に示す各種耐久性試験を行い、要求性能を満足することを確認している。試験状況を表 - 7 に示す。100 日間の冷熱繰返し試験後、2 400 時間の連続結露試験後、3 600 時間の中性塩水噴霧試験後、1 000 時間の酸・アルカリ浸漬試験後について、それぞれ試験後の供試体の被覆層を剥がし、内部鋼材の状況を観察し鋼材に錆が生じていないことを確認している。

## 6. 維持管理での点検、補修優先度

NEXCO では、平成 22 年 7 月以降に発注する工事では参考文献 4) での検討結果を基に、耐用年数 100 年間を想定した耐久性試験に合格した製品を使用するとともに、建

表 - 5 鋼材が露出した損傷の数量








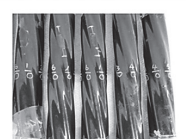



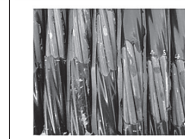



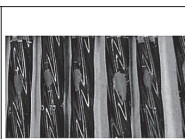


	A 橋	B 橋	C 橋	D 橋	E 橋
調査対象区間延長	約 70 m	約 90 m	約 80 m	約 50 m	約 30 m
調査区間の桁高	4.0 m	4.5 ~ 7.6 m	4.3 m	2.0 ~ 5.3 m	2.8 m
損傷数	27 箇所	5 箇所	3 箇所	4 箇所	0
既補修の有無	無し	有り	有り	無し	有り

表 - 6 補修方法に対する要求性能とその照査方法<sup>7)</sup>

要求性能		試験名	参照規格	照査方法
耐候性	温度変化による防錆材の劣化が著しくないこと	冷熱繰返し試験	JIS C 0025	最低温度 -20℃、最高温度 40℃ の環境に置くことを 1 サイクル (1 日) とし、これを 100 日繰返した後、ピンホール試験により被覆材に亀裂などがないことを確認する。
	被覆層に不連続領域がないこと	被膜のピンホール試験	JSCE-E512	乾式放電式、0.5 m/s 以下で過電時にリークがないこと。 荷電電圧は、(最低被覆厚み) × 4.55 × 1.5 (V) とする。
遮水性	被覆層を浸透して水分が鋼材表面に接触しないこと	連続結露法	JIS K 5600-7-2	50℃ 95 % Rh 以上の環境で 2 400 時間後、鋼材に錆が発生しないこと。
	被覆部と鋼材の界面に塩化物イオンの侵入がないこと	中性塩水噴霧試験	JIS K 5600-7-1	5 % NaCl 水溶液を 3 600 時間噴霧後、鋼材に錆が発生しないこと。
遮塩性	被覆部と鋼材の界面に酸、アルカリ、(水) の侵入がないこと	酸・アルカリ浸漬試験	JSCE-E528	3M・CaCl <sub>2</sub> 、3M・NaOH、Ca(OH) <sub>2</sub> sat、5 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> に 23℃ で 1 000 時間浸漬後、鋼材に錆を生じないこと。



表 - 7 補修材に対する耐久性試験状況

補修状況			冷熱繰返し試験		
					
補修前	補修状況	補修完了後	試験状況	100日後の外観	100日後のPC鋼材状況
連続結露試験			中性塩水噴霧試験		
					
試験状況	2400時間後の外観	2400時間後のPC鋼材状況	試験状況	3600時間後の外観	3600時間後のPC鋼材状況
酸・アルカリ浸漬試験			ピンホール試験		
					
試験状況	1000時間後の外観(硫酸)	1000時間後のPC鋼材状況(硫酸)	1000時間後の外観(水酸化ナトリウム)	1000時間後のPC鋼材状況(水酸化ナトリウム)	試験状況

設時についてエポキシ被覆 PC 鋼材の被覆の傷は、補修を行うものとしている。その後の維持管理段階で、箱桁内の外ケーブルに使用された防錆被覆 PC 鋼材に損傷を与えるような作用を与えるものは考えにくいことから、維持管理での負担はかぎりなく少ない。

しかし本調査より、これまでに施工された箱桁内のエポキシ被覆 PC 鋼材には、被覆層の傷が残っていることが分かった。完成後 10 年経過した橋梁においても、現在発生しているの鋼材錆は軽微であり、緊急を要するものではないものの計画的に補修を行っていく必要がある。

被覆に生じる損傷の数量には、表 - 8 のような傾向が見られた。鋼材の挿入方法が、一本ずつ挿入する方法から束ねて一括挿入する方法に変わってきていることや、桁内の作業量が桁高により増減することなどを勘案すると、防錆被覆 PC 鋼材の維持管理段階での点検、補修優先度を高い方から I、II、III、IV とすれば、図 - 1 のように表すことができる。

表 - 8 被覆層の損傷傾向

損傷の数	少ない	多い
鋼材挿入方法	束ねて一括挿入	一本ずつ挿入
建設年	新しい	古い
桁高	低い	高い
桁内の付属物	少ない	多い

## 7. おわりに

これまで述べたように、PC 箱桁内に配置されたエポキシ樹脂被覆 PC 鋼材は施工段階において被覆層に傷が付き、部分的に防錆効果を失っていることがある。B 橋のような

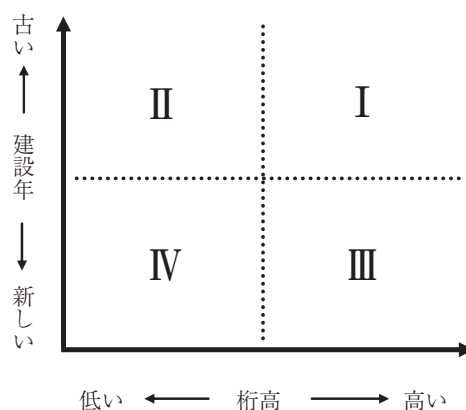


図 - 1 防錆被覆 PC 鋼材の維持管理優先度のイメージ

模範的と思われる施工を行ったところでも被覆層に損傷が生じており、損傷の発生を完全に無くすことは難しいと考えられる。しかし B 橋では、擦過傷の損傷程度を見ると軽微なものに留まっており、施工時に行った各種配慮が効果を発揮しているものと考えられる。

PC グラウトを行い防錆を図る方法では、グラウトの充てんを点検、検査する方法の開発が盛んに行われているところであるが、いまだ簡便で精度の高い方法を見出すには至っていない<sup>10)</sup>。しかし、エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材は、防錆機能のある被覆材の損傷が直接、目に見えるため点検、検査が容易である。ピンホール試験機による探査を行えば、照明設備がなく暗い箱桁内での点検、検査も効率的に行うことが可能である。

また、エポキシ樹脂被覆の補修を適切に行えば耐候性、遮水性および遮塩性ももとの被覆層と同等に回復することおよび、仮に被覆層の厚さが薄くなった場合でも耐候性、遮水性および遮塩性が確保されていることを確認してい

## ○ 調査報告 ○

る。また、目視あるいはピンホール試験を行うことにより容易に被覆層の損傷を発見することができるので、工事完成後あるいは維持管理の初期段階でPC鋼材全数を調査し、被覆層の損傷箇所を適切に補修することで必要な防錆効果の確保が容易にできるものと考えている。

これまでの調査から施工時に被覆層をまったく傷つけないことは難しいので、施工時における被覆層の損傷がPC鋼材表面まで達しないよう、被覆層の厚さには防錆効果のみではなく施工時のこすれやぶつけに対する余裕代を持たせておく必要があると考えられる。

これらの調査、試験結果を基にNEXCOでは、防錆被覆PC鋼材の品質管理基準、施工管理方法が、平成22年7月に構造物施工管理要領にて新規に定められたところである。建設時には工事完成後、被覆層の損傷を全数検査し、補修を行うこととしており、維持管理段階での負担をかぎりなく小さくしている。

ただしすでに維持管理段階にある橋梁では必要に応じて計画的に調査・補修を行い被覆層の健全度を確保していかなければならない。

本文がエポキシ被覆PC鋼材のみならず、各種防錆被覆PC鋼材の施工品質の向上、維持管理計画の参考になれば幸いである。

## 謝辞

本調査を行うにあたりご協力いただいた関係各位に、この場をお借りしお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 東日本・中日本・西日本高速道路(株)：構造物施工管理要領、2010.7, pp.2-160-2-163
- 2) 住友電工スチールワイヤー(株) ホームページ：<http://www.sei-ssw.co.jp/>
- 3) ヒエン電工(株) ホームページ：<http://www.hien.co.jp/>
- 4) 黒沢建設(株) ホームページ：<http://www.kurosawakensetu.co.jp/>
- 5) (株)土木学会：エポキシ樹脂を用いた高機能PC鋼材を使用するプレストレストコンクリート設計施工指針(案)、2010.7
- 6) (財)土木研究センター：全素線塗装型PC鋼より線を使用したPC構造物の設計・施工ガイドライン、2010.3
- 7) (財)高速道路調査会：防錆被覆PC鋼材の品質・施工管理に関する手引き、2010.2
- 8) (株)土木学会：コンクリート標準示方書〔規準編〕土木学会規準および関連規準、2007.5, pp.83-84
- 9) (株)土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針〔改訂版〕、2003.11, pp.78-79
- 10) 例えば、竈本武弘、野島昭二：せん断PC鋼棒のグラウト充てん度非破壊検査方法の適用性検証、第18回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、2009.10

【2011年3月10日受付】



刊行物案内

# 第 19 回 プレストレストコンクリートの 発展に関するシンポジウム 論 文 集

(平成22年10月)

本書は、平成22年10月に鹿児島市(かごしま県民交流センター)で開催された標記シンポジウムの講演論文集です。

CD版論文集：定価：12,000円、会員特価 8,000円/送料500円  
体 裁：プラスチックCDケース入り  
書籍版論文集：定価：12,000円、会員特価 8,000円/送料500円  
体 裁：B5判、箱入り