

## PC 箱桁外ケーブルに用いる 防錆被覆 PC 鋼材の性能照査指針の作成について

睦好 宏史\*1・青木 圭一\*2・堤 忠彦\*3

### 1. はじめに

近年、わが国の PC 箱桁道路橋において、PC 外ケーブル構造が採用される事例が増えており、代表的なプレストレストコンクリート構造として発展してきた。この中において、PC 外ケーブルとして防錆被覆 PC 鋼材の採用が年々増加しており、その技術を継続的に発展させるために、防錆被覆 PC 鋼材に関する統一的な品質管理規準をプレストレストコンクリート工学会（以下、PC 工学会）において制定することが望まれていた。

このようなことから、(株) 高速道路総合技術研究所の委託により、「PC 箱桁橋における防錆被覆 PC 鋼材の性能照査指針作成委員会」を設立し、「PC 箱桁外ケーブルに用いる防錆被覆 PC 鋼材の性能照査指針」（以下、本指針）を作成した。本指針は、全 6 章と参考資料から構成されており、防錆被覆 PC 鋼材に要求される性能とそれを満足する試験方法（照査法）に重点をおいた規準である。本稿では、規準化の背景とその内容について述べる。

### 2. 規準化の背景と目的

PC 外ケーブルの防錆方法については、わが国ではグラウト充填タイプと樹脂被覆タイプの 2 つの方法が主流となっており、グラウト充填タイプは、施工時のグラウト注入におけるグラウト材の充填性能向上、施工方法、充填状況の確認方法、施工後の確認方法等が要求性能規準として整備されている。一方、樹脂被覆タイプは、土木学会や土木研究センター等において各種製品に対応した独自の設計・施工に関する規準類が発刊されているが、これらの規準は、おのおのの対象とする防錆被覆 PC 鋼材の被覆層の構造が異なるとともに、性能事項を照査するための試験時間も異なる。したがって、PC 鋼より線の防錆性能の観点からは、統一的な要求性能事項と性能照査方法について、標準となる規定が無いのが現状である。このような現状において、その技術を継続的に発展させるために、各種学会規準を包括する品質管理規準の整備が望まれていることを受け、本指針の作成を行った。

本指針は、「防錆被覆 PC 鋼材の品質・施工管理に関する手引き（H22.2）：(財) 高速道路調査会」（以下「手引き」）に示す品質・施工管理における性能照査技術の知見を適用

拡大させることを基本とし、「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（H22.7）：土木学会」の最新の知見を取り込むかたちで実施し、以下の内容とすることを基本的な方針とした。

- ユーザー（事業者や管理者）が環境条件や使用条件に応じて、要求性能を適切に区分選定し、性能照査試験を適切に組み合わせて選択する「性能照査型」指針とする。
- 現在、国内で発刊されている学会規準案や製品の技術審査証明を補完する指針とする。
- 規準案では、防錆被覆 PC 鋼材の材質や製品を限定しないものとする。

「手引き」に示す内容は、PC 箱桁橋の桁内 PC 外ケーブルに防錆被覆 PC 鋼材を使用する場合に、100 年間の耐久性を満足させることを目標とし、性能照査試験方法や評価法を提案したもので、防錆被覆の材料を規定することなく要求性能を示したものである。

また、PC 工学会として本指針を発刊するとともに、英語版指針を作成し国際学会等に向けて情報発信することとした。これは、PC 外ケーブル構造の技術において、海外においても学会規準として制定された事例がなく、世界に先駆けて防錆被覆 PC 鋼材の品質・施工管理に関する要求性能事項と性能照査法の規準を確立することとなり、さらに、日本企業が国際事業等への海外進出に向けた推進力となることが期待され、本分野における国際的な技術の発展に大きく寄与できるものと考えられる。

### 3. 規準の内容

#### 3.1 総 則

総則では、本指針で規定する内容についての基本、適用の範囲、ならびに性能照査を実施する場合の原則について示している。

##### (1) 適用の範囲

本指針で対象とする鋼材は、PC 鋼より線に樹脂を用いて一重の防錆被覆したものを対象としている。これは、一重被覆鋼材がこれまでの使用実績がもっとも多いことによるものであり、よって本指針では、これに要求される性能と、その照査方法を規定している。しかし、多重被覆鋼材やマルチ被覆鋼材に関しても、外ケーブルとして使用する

\*1 Hiroshi MUTSUYOSHI：埼玉大学大学院 理工学研究科 教授

\*2 Keiichi AOKI：(株) 高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室 室長

\*3 Tadahiko TSUTSUMI：(株) 富士ビー・エス 技術本部 本部長

状態で本指針が規定する要求性能事項を満足することを前提に、適用の対象とした。

一方、亜鉛めっき PC 鋼より線など樹脂被覆以外の方法による防錆被覆 PC 鋼材は、現時点では PC 箱桁橋の箱桁内に配置する外ケーブルへの適用実績が少ないことや、被覆層の要求性能事項およびその品質確認方法が、樹脂被覆とは大きく異なることから、これについては本指針の適用対象外とした。

## (2) 性能照査の原則

本指針では、性能照査を実施する場合、供用環境に応じた腐食性環境区分ごとに設定した要求性能事項に対して行うことを原則としており、本指針の特徴的な部分のひとつである。防錆被覆 PC 鋼材の被覆材に関する性能照査方法について、試験方法は JIS および土木学会に定められているものに加えて、実橋の調査結果や ISO9223:1992「Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification」<sup>1)</sup> の考え方を盛り込み、長期間の耐久性の確保を意識した検討ができるように工夫している。ただし現段階において、たとえば樹脂では 100 年耐用を保証する指標や照査方法は存在せず、想定する期間としては 20 年程度としていることが多い。このため、本指針で定める照査方法は 20 年程度を想定した ISO9223 の照査方法の延長上で、これを単純に 5 倍することで 100 年の耐久性を照査することを考えており、実構造物においては過酷な環境を想定するものの、100 年を想定した劣化モデルに基づくものではない。したがって、本指針を用いて維持管理計画を立案する場合は、定期的な点検の実施と、今後の技術レベルの進展に応じて維持管理計画の見直しを行うことを前提としていることに留意する必要がある。

## 3.2 材 料

### (1) 一 般

本指針で対象とする防錆被覆 PC 鋼材は、母材が普通 PC 鋼材の場合は JIS G 3536 を満足するものとした。また、高強度 PC 鋼材も適用の対象としたが、高強度 PC 鋼材に関する JIS などの品質規格が規定されていないことから、これらの鋼材を用いる場合には、高強度 PC 鋼材に関する指針<sup>2)</sup>を参考にするのがよい。本指針では、今後の新たな防錆被覆 PC 鋼材の開発を妨げないよう、後述する「3.4 要求性能事項と照査方法」に示す防錆被覆 PC 鋼材の要求性能事項を満足することが証明できれば、材料として使用してもよいこととした。

### (2) PC 鋼材

本指針では、現在箱桁内の外ケーブルや建築分野において使用実績の多い 7 本よりの PC 鋼より線のうち、以下に示す公称径の PC 鋼材を標準とした。

- A 種：9.3 mm, 10.8 mm, 12.4 mm, 15.2 mm
- B 種：9.5 mm, 11.1 mm, 12.7 mm, 15.2 mm
- 高強度：15.2 mm, 15.7 mm

### (3) 被 覆 材

被覆材の選定においては、使用環境を十分考慮し材料特性を把握しておくとともに、接触材料と反応のないことを確認しておく必要がある。また、偏向部でのフレッティン

グに対し、所要の防錆性能が確保されることを確認しておく必要がある。被覆材は、PC 鋼材を外力による損傷から保護する役割を有している。仮に PC 鋼材が外力を受け、被覆層に損傷が認められた場合には、PC 鋼材に損傷が無いことを確認したうえで、使用している防錆被覆 PC 鋼材の種類に応じて要求性能事項を回復できることが事前に確認された補修材料と補修方法によって、被覆層を補修する必要がある。

### (4) 定着具および接続具

定着具または接続具の性能は、標準的な試験方法<sup>3)</sup>に基づいて確認する必要がある。ただし、これらの試験は新しい形式のものを用いる場合に行うものであって、土木学会の既往の指針<sup>4)</sup>で規定され、試験データのあるものは省略してもよいこととした。定着具および接続具が錆びて劣化が生じると、外ケーブルとしての性能を十分に維持できなくなる可能性があることから、被覆カバーや充填材などにより定着部を保護し、設計供用期間中に定着具や接続具が錆びないようにする必要がある。

### (5) 偏 向 具

偏向具は、外ケーブルとして用いる PC 鋼材を滑らかに曲げ配置し、損傷させない必要があることから、内面に突起や段差がなく円滑である鋼管とその内面に保護管を配置する構造が一般に多く用いられている。また、PC 鋼材が偏向部の端部で角折れすることがないように、鋼管を曲面状に加工するか、緩衝材を設置するなどの対処が必要である。偏向具は外気に曝されるものであることから、腐食しない材料あるいは防錆処理を施した耐久性のある材料を用いる必要がある。

## 3.3 供用環境調査と腐食性環境区分

防錆被覆 PC 鋼材の要求性能事項の設定に先立ち、使用される箱桁内部の環境を想定した供用環境の調査(表-1)を実施し、この結果に基づいて腐食性環境区分を定める。腐食性環境の設定は、設計供用期間や構造物の重要度などを総合的に考慮する必要があることから、事業者が行うものとした。

表 - 1 既往の供用環境調査

供用環境区分	路線名	IC 区間	橋梁名	橋梁形式
寒冷地域	道央道	深川～旭川鷹栖	石狩川橋	PC 箱桁橋
高温多湿地域	沖縄道	北中城～沖縄南	屋宜原橋	PC 箱桁橋
凍結防止剤散布地域 (山間部)	中央道	松川～駒ヶ根	片桐松川橋	PC 箱桁橋

また、被覆 PC 鋼材の要求性能事項とそのレベルは、供用環境の調査結果や劣化を防止するための周辺措置の設置方法、グレード、および維持管理の方法についても考慮する必要がある。現状では、防錆被覆 PC 鋼材の耐候性に関する性能照査方法について供用環境を考慮できる体系的な規準が日本国内では整備されていない。したがって当面やむを得ない場合には ISO9223 に準じて防錆被覆 PC 鋼材の耐久性試験や促進暴露時間を設定する方法を併用していくものとした。しかし、ISO9223 が対象とした環境条件は、必ずしも日本国内の条件とは一致しない。したがって適用

においてはこのことに十分留意するとともに、日本独自の規準を整備していくことも今後の課題である。ISO9223では、相対湿度から定まる被覆PC鋼材の濡れの状態、二酸化硫黄による汚染状態、さらに塩分の蓄積量などをパラメータとして腐食性区分を定め、これに応じた耐久性照査のための試験方法を決定する(表-2)。

表-2 腐食性環境の区分 (ISO9223)

		濡れ時間 ( $\tau$ ) (年間における、気温0℃以上での相対湿度80%となる時間で表わす)								
		class $\tau 1$			class $\tau 2$					
二酸化硫黄による汚染状態 (SO <sub>2</sub> )		塩分の蓄積率 mg/m <sup>2</sup> ・d								
濃度 μg/m <sup>3</sup>	蓄積率 mg/m <sup>2</sup> ・d	S0	S1	S2	S3	S0	S1	S2	S3	
Pc1	Pd1 Pd-n									
Pc-n	Pd1 Pd-n			腐食性環境区分						

\*簡略化して表示

しかし一方で、環境調査を個々の橋梁ごとに実施することは、供用環境の変化予測も含めて技術的、経済的に合理的でない場合がある。そこで、対象とする橋梁の環境データは、代表的な環境区分ごとに実施した調査結果を参考資料として提供しており、これを採用してよいこととしている。

さらに、将来的な供用環境が、調査結果を評価するうえでの前提とした条件より厳しい方向に変化する可能性が想定される場合は、腐食性環境区分を補正することで考慮できるかたちとしている。

### 3.4 要求性能事項と照査方法

防錆被覆PC鋼材の要求性能事項は、PC箱桁橋としての要求性能事項のうち、防錆被覆PC鋼材に関連する項目を満足するものでなければならない。PC箱桁橋の主たる要求性能事項は、安全性、供用性、耐久性および復旧性であるが、防錆被覆PC鋼材に関連する項目としては、安全性、供用性に影響を及ぼす耐荷性、耐久性に影響を及ぼす耐腐食性があげられる。防錆被覆PC鋼材を用いたPC箱桁橋が、その機能を維持するためには、関連する項目である耐荷性、耐腐食性を十分満足させる必要がある。

また、防錆被覆PC鋼材は、次の要求性能事項を満足するものでなければならない。

- 1) PTシステム(Post-Tension System)としての所定の機能を確保する。
- 2) PC鋼材を腐食から保護しPTシステムの耐久性を確保する。

1)は、防錆被覆を施すことにより定着性能が損なわれない、あるいは緊張材としての機械的特性が損なわれないことを保証するものであり、耐荷性に対する要求性能事項である。2)は、PC鋼材の防錆に関する事項であり、耐腐食性に対する要求性能事項である。

これらの防錆被覆PC鋼材の要求性能事項について、本指針の対象とするPC箱桁橋の箱桁内で使用する外ケーブ

ルに着目して小項目に分類し、実際に照査を行えばよい性能照査項目を表-3に示す。

表-3 要求性能事項と性能照査項目

PC箱桁橋の要求性状事項	防錆被覆PC鋼材の要求性能事項	防錆被覆PC鋼材の性能照査項目
安全性	【耐荷性】 PTシステムとしての所定の機能を確保する	定着性
供用性		機械的特性
耐久性	【耐腐食性】 PC鋼材を腐食から保護しPTシステムの耐久性を確保する	耐疲労性
		耐候性
		耐水性
		耐塩性
		耐薬品性
復旧性	-	耐損傷性
		耐疲労性

1)に対する性能照査項目は、PTシステムとしての機能確保に関する項目であり、直接、耐荷性に影響を及ぼす事項である。これに対して2)に対する性能照査項目は、時間の経過に伴い発生するPTシステムの不具合を防止するものであり、防錆性能を低下させずに耐腐食性を確保するためのものである。このうち耐疲労性は、偏向部や定着部における繰返し応力変動に対する性能照査項目であり、時間の経過に伴い発生する事項である。しかしながら、偏向部でのフレッティング疲労などPC鋼材の疲労破壊に関する事項であるため、1)の性能照査項目としてあげるとともに、鋼材同士のこすれにより被覆層が損傷し、防錆性能の低下につながる事項も含まれるため、2)の性能照査項目にもあげている。

防錆被覆PC鋼材の性能照査項目に対する具体的な性能照査方法に関して、本委員会でもまとめた結果を本指針の中で示している(本指針p.21, 解説表4.1.2)。これは各項目に対して、それを評価するための性能照査方法を記載したものであり、示される試験を実施し、性能照査基準をクリアすれば、設計供用期間中における防錆被覆PC鋼材としての要求性能事項が満足されることとなる。ここで、耐荷性、耐水性、耐塩性および耐薬品性など供用環境に大きく影響を受ける項目の性能照査方法については、3章に示される供用環境調査に基づく腐食性区分に応じて、適切に設定する必要がある。

本指針は、PC箱桁橋の箱桁内で使用する外ケーブルを対象としている。防錆被覆PC鋼材を外ケーブルとして使用する場合、製品によっては、たとえばエポキシ樹脂による被覆に加えてポリエチレン被覆を二重に施すことを前提にしているものもある。このような場合も含めて、外ケーブルとして使用する状態において、本章に示す要求性能事項に対する性能照査を行う必要がある。ただし、耐候性、耐水性、耐塩性および耐薬品性については、2層目の被覆を施したのちでは1層目の確認が困難となるため、1層目の被覆状態で性能照査を行うこととした。

### 3.5 品質管理方法

#### (1) 一般

本指針に定める防錆被覆PC鋼材に対する3種類の品質

管理試験, ① 基準試験 ② 定期管理試験 ③ 日常管理試験を規定し, その目的を下記のとおりとした。

基準試験: 防錆被覆 PC 鋼材および被覆層の補修材料が所定の性能を満足しているかを確認する。

定期管理試験: 材料が安定した品質管理体制の下で製造されているかを定期的に確認する。

日常管理試験: 工場出荷前の防錆被覆 PC 鋼材に対して, 不適合品を選別する。

さらに, 品質管理試験の試験実施は責任技術者の下で監理・その承認を得ることを規定し, 試験記録の保管義務について記述した。

## (2) 基準試験

基準試験の実施時期を製品開発時とし, 実施項目は 4 章に規定している各性能照査試験すべてとした。しかしながら, すでに採用実績のある材料の基準試験については, 既採用時での各種試験結果をもって代替できるものとした。一方, 原材料や製造方法を変更した場合には, 下記のように基準試験をやり直すこととした。

- PC 鋼材の原材料もしくは製造方法変更の場合: 耐疲労性, 定着性, 機械的特性に関する試験項目。
- 被覆材もしくは被覆工程での製造方法変更の場合: 耐候性, 耐水性, 耐塩性, 耐薬品性, 耐損傷性, 耐疲労性に関する試験項目。

## (3) 定期管理試験

定期管理試験時に全性能照査試験項目を実施することは, 長い試験時間や, 大がかりな試験設備のため, 実用性に欠ける。よって, 基準試験時で全性能を確認していることを前提にして, 基準試験項目から定期管理試験項目を抽出し, 実施項目は, ① 中性塩水噴霧試験 ② 曲げ試験 ③ 被覆材の物性確認試験とした。

また, 一定期間での定期管理試験が必要であるが, 過度に長い期間未確認であることは, 品質管理の観点から不相当であるので, 次のような期間を設定した。

- 中性塩水噴霧試験については 2 年に 1 回以上。
- 曲げ試験および被覆材の物性確認試験については被覆材の 1 製造ロットに 1 回以上。

## (4) 日常管理試験

初期防錆機能の確認, すなわち所定被覆厚を有する健全な被覆層の連続を確認することを目的に, 日常管理試験では, 被覆厚の確認試験, 被覆層のピンホール試験を行うこととした。

日常管理試験のうち, 被覆厚の確認試験については製品製造時の製造ロットごとに行うものとし, 被覆層のピンホール試験については, 試験器具により実施可能なので, 鋼材全長にわたって行うものとした。

## 3.6 防錆被覆 PC 鋼材の施工

### (1) 一般

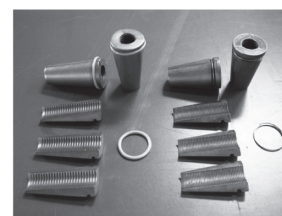
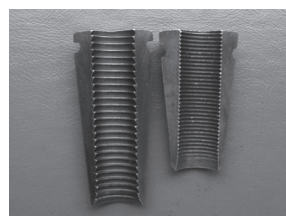
防錆被覆 PC 鋼材の被覆層は, 金属やコンクリートなどのように被覆材より硬い物と直接接触すると傷がつきやすい。また, 被覆材の一種であるエポキシ樹脂は, 長期にわたって紫外線に曝されることによる品質の劣化が懸念され

る。防錆性能を十分に発揮させるためには, 被覆層の品質に影響を与える損傷や劣化の防止に十分留意しなければならない。

施工に際しもっとも重要なことは, 被覆層に損傷を与えたり劣化させることなく, 防錆被覆 PC 鋼材を主桁内に配置し, 緊張可能なケーブルとして構成できるかである。そのためには, 防錆被覆 PC 鋼材を現場に運搬・搬入してから, 保管, 配置, 緊張・定着などのすべての施工段階において被覆層に損傷を与えたり劣化させる行為を行ってはならない。このような行為を行わないためには, 各施工段階について適切に施工計画を立案し, 順守することが重要である。

### (2) 緊張・定着

防錆被覆 PC 鋼材を緊張するための引張装置や定着するための定着具は, 一般には普通 PC 鋼材に使用されるものとは異なる。所定の引張力を得るためには, 使用する防錆被覆 PC 鋼材に適合した引張装置や定着具を使用する必要がある (写真 - 1)。



左: 防錆被覆 PC 鋼材用の定着具

右: 普通 PC 鋼材用の定着具

写真 - 1 専用定着具の例

使用する防錆被覆 PC 鋼材に適合しない定着具を利用した場合, 被覆層が定着ウェッジの歯の PC 鋼より線への食い込みを阻害し, 定着滑りを生じることが懸念される。そのため, 防錆被覆 PC 鋼材の定着には, 被覆厚に応じて定着ウェッジの歯が十分に PC 鋼より線へ食い込むように, 定着ウェッジの高さが調整された専用の定着具を使用する必要がある。

### (3) 検査・補修

防錆被覆 PC 鋼材の被覆層は施工の各段階で損傷する可能性があるが, 施工完了後に防錆被覆 PC 鋼材を直接的に完全に検査することは非常に困難である。そこで, 施工の各段階で必要な検査を行い, 一連の検査結果として最終的に要求性能事項が満足されることを保証することが必要である。検査には, 材料の受入れ時と配置途中および配置後に行うものがある。受入れに際しては, 所定の品質を満足していることを製造者の試験成績書により確認する。また, 運搬・搬入方法が計画書どおりであることを確認する。なお, 目視による被覆層の損傷の確認は開梱時に行えばよい。

配置作業が完了した後では, 被覆層の損傷を発見しても補修が困難な場合が多いので, 配置後だけでなく配置途中においても目視による被覆層の損傷の確認を行うものとした。さらに, これまでの調査から PC 鋼材配置時や緊張作

業時に使用した足場を撤去する際に被覆層を損傷させる事例が多いことがわかっていることから、原則として、すべての施工が完了して防錆被覆 PC 鋼材に損傷を与える作業がない状態で、可能な範囲で全長に対してピンホール検査による損傷の確認を実施することとしている。補修箇所の検査は、目視または触手による確認を標準としている。

施工の各段階の検査によって被覆層の損傷が確認された場合、損傷状態から補修可能か判断する必要がある。補修可能な場合は、PC 鋼より線が損傷しておらず、被覆層の損傷範囲が限定的であると判断され、かつ補修により防錆被覆 PC 鋼材としての要求性能事項を回復できる場合である。補修には、要求性能事項を回復できることが事前に確認された補修材料と補修方法を使用しなければならない。

(4) 維持管理

設計供用期間中に、当該 PC 箱桁橋が所要の機能を果たすためには、防錆被覆 PC 鋼材の品質を維持することが重要であり、このためにも維持管理が必要である。したがって、PC 箱桁橋の維持管理計画に防錆被覆 PC 鋼材に対する維持管理のポイントを明記しておくこととした。この際、防錆被覆 PC 鋼材に特有の留意点を明確にするとともに、点検の頻度・方法、判定基準・判定方法、予想される経時的な変状とその対策案などの具体的方法を明記することとしている。

維持管理に必要な情報には、受入れ時の品質規格、被覆部の損傷、施工時の被覆部の損傷と損傷箇所などがあり、構築した PC 箱桁橋の維持管理の基礎資料となる。また初期点検やその後に行われる点検の結果は、次の点検への重要な情報となる。したがって、これらの情報は、維持管理計画に基づいた適切な方法で記録、保管されなければならない。原則として当該 PC 箱桁橋の設計供用期間中、保管されなければならないものとした。

3.7 参考資料

本指針では、要求性能事項を照査するための標準試験方法を示した(表 - 4)。

表 - 4 要求性能事項を照査するための標準試験方法

資料番号	資料内容
A	PC 箱桁内の供用環境調査
B	冷熱繰り返し試験
C	被覆層のピンホール試験
D	連続結露法
E	中性塩水噴霧試験
F	酸・アルカリ浸漬試験
G	曲げ試験
H	引込み摩耗試験
I	引張破断試験
J	耐衝撃性試験
K	2 本重ね圧縮試験
L	フレット疲労試験
M	定着具の疲労試験
N	定着具と緊張材を組み合わせた性能試験
O	本指針と諸外国等の基準との比較

以下に例として「被覆層のピンホール試験」, 「フレット

疲労試験」および「本指針と諸外国等の基準との比較」について報告する。

(1) 被覆層のピンホール試験

防錆被覆 PC 鋼材の被覆層の連続性は、「被覆層のピンホール試験」による確認を標準とした。これは、被覆層の絶縁性を利用し、鋼材と被覆層の間に荷電して放電の有無を調べることで、被覆層の連続性の欠陥(ピンホール)を検出する試験である。ピンホール試験装置のイメージを図 - 1 に示す。

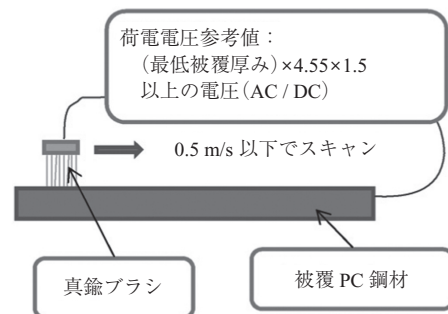


図 - 1 ピンホール試験装置のイメージ

試験器具は金属製ブラシなど鋼材表面に形状がなじむプローブ部を有するピンホールテスターとした。試験電圧は、ピンホールが検出できる電圧とした。JSCE-E 512<sup>5)</sup>では、試験電圧は 1000V とされており、4.55 V/μm に相当するが、これは被覆厚み 220 μm ± 40 μm のエポキシ鉄筋を対象とした場合の値である。しかし、本指針が対象とするのは外ケーブルであるため、より高い電圧を用いた試験が適当である。一方、電圧を高めることは健全な被覆部を絶縁破壊する可能性も否めない。よって、本指針の参考値は、図 - 1 に示す値とした。

(2) フレット疲労試験

防錆被覆 PC 鋼材の被覆層の偏向部における破断に対する抵抗性は、「フレット疲労試験」による確認を標準とした。これは、偏向部を模擬した試験ブロック(曲げ半径: R = 3000, 偏向角片側 7 度)にマルチストランドを配置し、これに下限荷重 0.6 Pu, 応力振幅 50 N/mm<sup>2</sup>, 振動数 1 Hz 程度を標準で繰り返し曲げ荷重を行い、200 万回荷重後に鋼材および素線の破断のないことを確認するとともに、被覆層の損傷がない(PC 鋼材素線の表面が露出していない)ことを目視にて確認するものである。なお、偏向管および PE 管については、使用する試験片により指定する構造がある場合、それを用いてもよいこととした。フレット疲労試験装置のイメージを図 - 2 に示す。

(3) 本指針と諸外国等の基準との比較

冒頭にも記載したとおり、本指針の英語版を作成し、海外に向けて日本の技術を情報発信することを目的としている。したがって、ここでは、本指針と諸外国の基準に関する比較について記述する。

表 - 5 に本指針と比較を行った諸外国との基準一覧を、表 - 6 に各基準の構成を比較したマトリックスを示す。

表 - 6 から顕著なことは、諸外国の基準には、ASTM

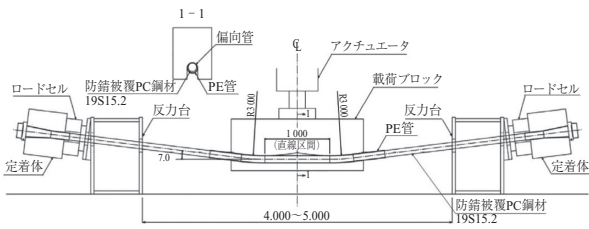


図 - 2 フレッシング疲労試験装置のイメージ

表 - 5 本指針と比較を行った諸外国との基準一覧

PC 箱桁外ケーブルに用いる防錆被覆 PC 鋼材の性能照査指針	2011
ASTM A882/A882M-04a	2010
ISO 14655 : 1999 (E)	1999
FIP Recommendations Corrosion protection of unbonded tendons	1986
NF A 35-035	1993
prEN 10337.2	2006

表 - 6 各基準の構成を比較したマトリックス

		PC箱桁外ケーブルに用いる防錆被覆PC鋼材の性能照査指針	ASTM	ISO	FIP	NF A	prEN	参考：建築学会 (アンボンド工法)	
発行年		2011	2010	1999	1986	1993	2006	1986	
第1章	総則								
第2章	使用材料	PC鋼材							
		被覆材							
		定着具および接続具	-	-	-	-	-	-	-
		偏向具	-	-	-	-	-	-	-
第3章	供用環境調査								
第4章	要求性能と照査方法	耐候性	-	-	-	-	-	-	
		耐水性	-	-	-	-	-	-	
		耐塩性	-	-	-	-	-	-	
		耐薬品性	-	-	-	-	-	-	
		耐損傷性	-	-	-	-	-	-	
		耐疲労性	-	-	-	-	-	-	
		定着性	-	-	-	-	-	-	
機械的性質	-	-	-	-	-	-			
参考	： 膜厚								
第5章	品質管理方法								
第6章	防錆被覆PC鋼材の施工								

および ISO には一部規準があるものの、本指針のメインとなる 3 章で示した供用環境調査の規定、4 章で示した要求性能事項と照査方法についての規定がない。このようなことから、本指針は世界初の規準となる。ただし、3 章で示したとおり ISO9223 (大気の腐食性分類から濡れ時間を規定) には供用環境調査の規定があり、また、2 章の使用材料の定着具および接続具は、FIP : recommendation 5.2<sup>6)</sup> および、PTI : Acceptance Standards for Post-tensioning System<sup>7)</sup> に規定がある。

表 - 7 に、要求性能事項と照査方法に関する本指針と ASTM, ISO の規定の比較を示す。

#### 4. おわりに

本指針は今後 NEXCO および一般道路橋の品質・施工管理規準として適用されることになる。さらに、本指針は英訳され、英語版が刊行される。本指針を海外に情報発信することは、わが国の PC 技術が海外にも普及していくことになり、きわめて意義のあることと考えられる。関係各位にご一読いただき、ご活用いただければ幸いである。

表 - 7 要求性能事項と照査方法に関する本指針と ASTM, ISO の規定の比較

		PC箱桁外ケーブルに用いる防錆被覆PC鋼材の性能照査指針	ASTM	ISO		
第4章	要求性能と照査方法	耐候性	冷熱繰り返し試験	-	-	
		耐水性	被覆のピンホール試験 連続結露法	-	湿式のピンホールテスター	
		耐塩性	中性塩水噴霧試験	-	塩化物透過性試験 塩水噴霧	
		耐薬品性	酸・アルカリ浸漬試験	-	耐薬品性試験	
		耐損傷性	曲げ試験	-	-	曲げ試験
			引込み摩耗試験後のピンホール試験	-	-	砂摩耗試験
			引張破壊試験	-	-	引張試験
			耐衝撃試験	-	-	衝撃試験
		耐疲労性	2本重ね圧縮試験	-	-	-
			フレッシング疲労試験	-	-	-
定着性	定着具と緊張材を組み合わせた引張試験	-	-	-		
機械的性質	引張試験、リラクセーション試験	-	-	リラクセーション		
参考	： 膜厚	膜厚自体の規定は無い (要求性能を規定)	クラウン部膜厚 380~1140 μm	内部充填型 : 400~900 μm 非内部充填型 : 650~1150 μm		

最後に、委員会において本指針の作成に多大なるご協力をしていただいた委員各位および貴重なデータ等を提供していただいた PC 鋼材製造会社の方々に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) ISO9223:1992 「Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification」
- 2) プレストレストコンクリート技術協会：高強度 PC 鋼材を用いた PC 構造物の設計施工指針，2011.6
- 3) 土木学会規準 JSCE-E503-1999：PC 工法の定着具および接続具の性能試験方法
- 4) 土木学会：プレストレストコンクリート工法設計施工指針 (工法別設計施工指針)，1991.3
- 5) 土木学会規準 JSCE-E512-2003：エポキシ樹脂塗装鉄筋のピンホール試験方法
- 6) Federation International of Prestressing : 1986 「Recommendations Corrosionprotection of unbonded tendons」
- 7) Post-Tension Institute : 2011 「Acceptance Standards for Post-tensioning System」

#### PC 箱桁橋における防錆被覆 PC 鋼材の性能照査指針作成委員会 (平成 23 年度)

- 委員長 睦好 宏史  
 顧問 池田 尚治  
 委員 二羽 淳一郎, 下村 匠, 佐藤 勉,  
 渡辺 博志, 田邊 弘往, 酒井 秀昭,  
 春日 昭夫  
 幹事長 堤 忠彦 (PC 技術規準委員会連絡幹事)  
 委員兼幹事 岡本 裕昭 (PC 技術規準委員会連絡幹事),  
 橋本 学, 細谷 学, 諸橋 明,  
 藤田 知高, 花島 崇, 熊坂 徹也,  
 吉田 直弘  
 委託者 寺田 典生, 青木 圭一, 浅井 貴幸,  
 横山 貴士, (旧) 長谷 俊彦,  
 (旧) 緒方 辰男, (旧) 竈本 武弘

(敬称略)

【2012 年 11 月 22 日受付】