

「全素線塗装型 P C 鋼より線を使用した P C 構造物の設計・施工ガイドライン」作成

渡邊武生* 平井 圭** 福地啓太***

1. はじめに

P C 構造物の緊張材として使用される P C 鋼より線は、P C 構造物を構成する最も重要な材料の 1 つである。P C 鋼より線の腐食は、P C 構造物に重大な欠陥をもたらす。このため、P C 鋼より線の防錆は重要な課題である。P C 鋼より線の防錆方法のひとつに、P C 鋼材の表面にエポキシ樹脂塗装等により塗膜を形成する方法がある。この塗装 P C 鋼材には、より線内部の空隙を充填し外周を一体的に塗装した内部充填型エポキシ樹脂被覆 P C 鋼より線と、素線 1 本ごとに塗装を施した全素線塗装型 P C 鋼より線（以下、全素線塗装型）がある（図-1 参照）。

これまで、全素線塗装型を使用した P C 構造物の設計・施工に関する基準は作成されていない。

そこで、(財)土木研究センターでは、平成 20 年 10 月、「全素線塗装型 P C 鋼より線を使用した P C 構造物の設計・施工ガイドライン」（以下、本ガイドライン）の作成を目的に、産学官からなる「全素線塗装型 P C 鋼より線の合理的な適用に関する委員会（委員長：池田尚治）」を設立した。同委員会において、全素線塗装型およびその外周にポリエチレン被覆を施したポリエチレン被覆全素線塗装型 P C 鋼より線（以下、P E 被覆全素線塗装型）を内・外ケーブルに適用するための設計および施工方法の標準を示すための検討を行った。

本稿は、全素線塗装型と本ガイドラインの概要について紹介するものである。

なお、全素線塗装型には、主にコンクリート断面内に配置する内ケーブルとしての使用を想定して各種性能の確認を行い、(財)土木研究センターが建設技術審査証明を交付した「S C ストランド（建技審証第 0434 号）」¹⁾がある。

2. 全素線塗装型の概要

2.1 仕様

全素線塗装型は、エポキシ樹脂を用いて静電粉体塗装法により P C 鋼より線の芯線・側線それぞれの全周面単独に防錆塗膜を形成した P C 鋼材である。全素線塗装型の形状と外観を図-2 に示す。また、全素線塗装型の外周にポリエチレン樹脂を押し出成型法により被覆した外ケーブルでの使用を想定した P E 被覆全素線塗装型もある。

これらの標準仕様を表-1 に示す。また、使用条件を以下に示す。

《使用条件》

全素線塗装型：コンクリートやグラウトとの付着が必要な場合（主に内ケーブル）

P E 被覆全素線塗装型：コンクリートやグラウトと付着の必要のない場合（主に外ケーブル）

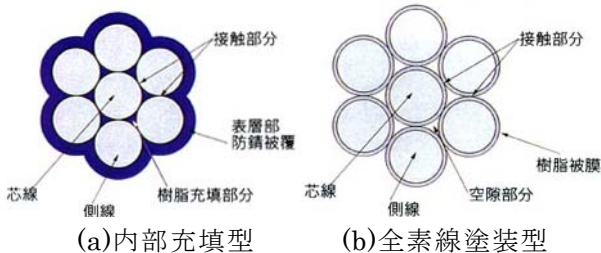


図-1 塗装 P C 鋼材の断面形状

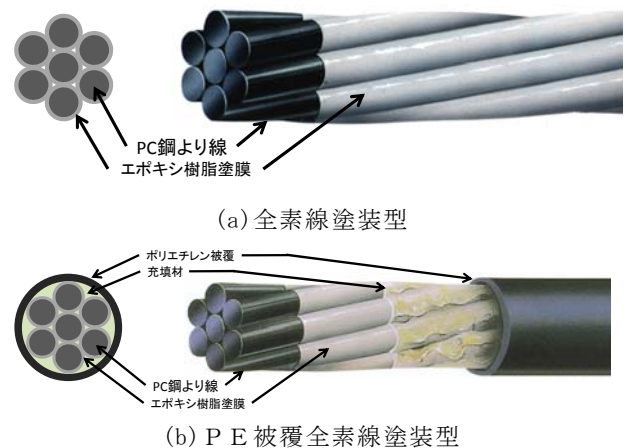


図-2 全素線塗装型の形状と外観

表-1 全素線塗装型の標準仕様

PC鋼 より線	JIS記号	SWPR7B	
	呼び名	12.7	15.2
	単位質量 (g/m)	774	1,101
塗膜部	標準外径(mm)	13.9	16.4
	標準塗膜厚さ(mm)	0.20	0.20
	標準塗膜質量(g/m)	26.0	30.0
	塗膜の種類	エポキシ樹脂	
被覆部	標準外径(mm)	18.1	20.5
	標準塗膜厚さ(mm)	2.1	2.1
	標準塗膜質量(g/m)	100	116
	被覆の種類	ポリエチレン樹脂	

2.2 特徴

全素線塗装型の主な特徴は、①エポキシ樹脂を塗装する前のPC鋼より線の性能（機械的性質、柔軟性等）を損なわずに、エポキシ樹脂塗膜による防食性能を有していること、②素線の全周面単独に塗装されているので素線同士が接触しないため、繰返し荷重などにより生じる表面の擦れ合いが原因のフレッティング疲労に対して有利であるなど、腐食や疲労に関する耐久性能が向上していることである。

また、SCストランドは、塗装を行っていない従来のPC鋼より線（以下、無塗装PC鋼より線）に用いられる定着工法との組み合わせにより定着性能が確認されており²⁾、定着部分の塗膜に加工を施すことや専用の定着具を用いることなく使用することが可能なものもある。

3. 本ガイドラインの概要

3.1 構成

本ガイドラインは、共通編、設計編および施工編の3編で構成され、巻末に資料編として全素線塗装型の各種性能を確認した試験結果等の各種文献の抜粋を添付している。

なお、本ガイドラインの対象は、①全素線塗装型をコンクリート断面内に配置した内ケーブルタイプのPC構造物、②PE被覆全素線塗装型をコンクリート断面の外部に配置した外ケーブルタイプのPC構造物である。

3.2 「共通編」

本編では、耐久性能を有する全素線塗装型を用いたPC構造物の計画を含め設計・施工に共通す

る事項について、PC構造物の要求性能、主要材料である全素線塗装型の各種性能を規定している。

主要材料である全素線塗装型の各種要求性能について概要を以下に示す。

全素線塗装型は、エポキシ塗膜により防食性能が保持されているため、素地鋼材の腐食の要因である塩害等に対する防錆性能を有していなければならない。また、PC鋼より線の変形に追随する可とう性（写真-1参照）、および衝撃等に対する塗膜の密着性を有していなければならない。さらに、無塗装PC鋼より線と同等に取り扱うため、機械的性質や疲労強度特性についてもこれと同等の性能を有している必要がある。全素線塗装型の要求性能を表-2に示す。



写真-1 塗膜の可とう性

表-2 全素線塗装型の各種要求性能

性能項目	要求性能
防錆性能	塩化物および薬品等に対して、十分な防錆性能を有していること
塗膜の可とう性	塗膜は、緊張に伴う伸びおよび曲げ等に追随する十分な可とう性を有していること
柔軟性	従来の無塗装PC鋼より線と同等の柔軟性を有していること
塗膜の耐衝撃性	塗膜は、様々な衝撃に対して所定の耐衝撃性を有していること
機械的性質	JIS G 3536に定められているPC鋼より線の機械的性質を保持すること
疲労強度特性	従来の無塗装PC鋼より線と同等の疲労強度特性を有していること
コンクリートとの付着強度特性	コンクリートとの付着強度は、従来の無塗装PC鋼より線と同等であること
定着性	無塗装PC鋼より線にて定着効果が確認されている定着具と組合わせた引張試験において、引張荷重の95%以上を満足すること
偏向部における腹圧および繰返し荷重に対する保護層の健全性 ^{注)}	緊張導入力による偏向部の接触力および繰返し荷重が作用したとき、保護管を組合せて使用することによって、エポキシ樹脂塗膜およびポリエチレン被覆が所定の防食性能を保持していること

注) PE被覆全素線塗装型のみ

土研センター

3.3 「設計編」

本編では、構造物および使用材料の耐久性やその他の要求性能に対する照査の標準的な方法を示し、照査の前提条件や構造細目を規定している。

ここでは、耐久性に関する照査、および外ケーブルに関する構造細目について概要を以下に示す。

(1) 耐久性に関する照査

塩害による鋼材腐食に関する照査については、一般にPC鋼材は、コンクリート断面内で鉄筋よりも内部に配置されていること、全素線塗装型の防食性能が各種試験により確認されているため、鉄筋の腐食に対する照査を行えばPC鋼材の腐食に対する照査を省略してもよいこととしている。

照査を行う場合の参考として、全素線塗装型の鋼材素地表面における塩化物イオン濃度の計算方法を記載している。

構造物の設置環境を飛沫帯とし、普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比45%のコンクリートを使用し、かぶりを30mmとした場合の全素線塗装型の鋼材素地表面における塩化物イオン濃度の経時変化を示すと図-3のようになる。これによると、100年後においても全素線塗装型の鋼材素地表面における塩化物イオン濃度は0.72kg/m³であり、鋼材の腐食限界塩化物イオン濃度(1.2kg/m³)以下である。

かぶりが小さい場合においても、エポキシ樹脂塗膜によりPC鋼材素地が腐食しないので、かぶりが低減できる可能性があることがわかる。

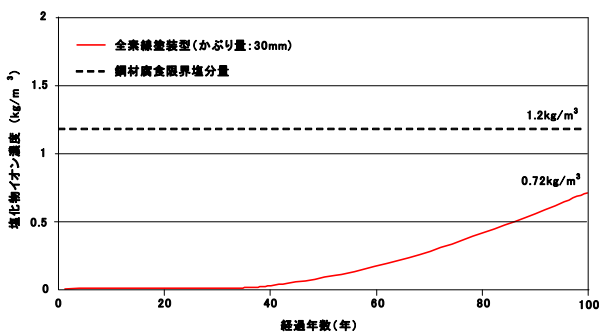


図-3 鋼材素地表面の塩化物イオン濃度

(2) 外ケーブルに関する構造細目

外ケーブル構造では、図-4のモデルに示すように、外ケーブルの緊張に伴い偏向部の曲線部(図-4中の弧長L)にPC鋼材に腹圧力が作用し、その反力である接触力によって構造物には部材力が発生する。

これらの接触力や部材力により、PE被覆全素線塗装型の保護層(エポキシ樹脂塗膜、充てん材及びポリエチレン被覆)や構造部材が損傷しないことをケーブルの接触応力が制限値以下であることにより確認することとしている。

接触応力の制限値は、次の実験を行い、ケーブルの偏向部での緊張時の健全性が確認できた際のケーブルの接触応力を上限値としている。

〔実験概要〕

外ケーブルとして使用する頻度が高い直径15.2mmの全素線塗装型を19本用いた19S15.2(降伏荷重Py=4218kN、引張荷重Pu=4959kN)タイプを用いて、図-5に示すように偏向部は、同ケーブルタイプの最小曲げ半径である3mとしたコンクリート部材を製作し、ダクト内にポリエチレン製の保護管とともにケーブルを配置し、実ケーブルの偏向部での緊張時の状況を確認した³⁾。

実験では緊張作業時の最大緊張力0.9Py(=3796.2kN)で行ったが、保護層は十分に健全性が確保されていた。この結果、接触応力度の制限値σは、図-4に示すモデルを用いて式(1)により算出した13.1N/mm²とした。なお、供用時にケーブルにかかる張力は、0.6Pu(=2975.4kN)であるために、接触応力度の制限値は十分に安全側の値である。

$$\sigma(N/mm^2) = \frac{P'}{R \cdot w} \dots \dots \text{式(1)}$$

$$= 3796.2 \times 1000 / (3000 \times 96.5)$$

$$= 13.1(N/mm^2)$$

P'(N) : ケーブル緊張力 (=3796.2kN)

R(mm) : 曲げ半径 (=3,000mm)

w(mm) : ケーブル幅 (=96.5mm)

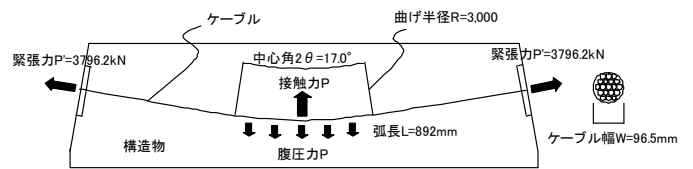


図-4 接触力を計算するためのモデル

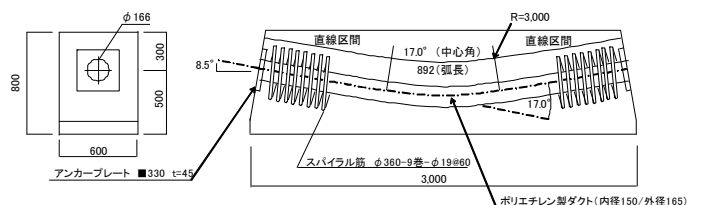


図-5 コンクリート部材の形状

3.4 「施工編」

本編では、全素線塗装型を用いたPC構造物を設計図書に示された要求性能とおり施工するために、施工時の塗膜の保護など配慮すべき事項を示している。

外ケーブル方式にPE被覆全素線塗装型を使用する場合は、図-6に示す定着部での定着具背面部において塗膜の露出部であるポリエチレン被覆除去区間（図-7参照）があり、偏向部では腹圧力を受ける区間がある。その両区間において防食性能を確保するために、保護管を配置してPE被覆全素線塗装型を保護することとしている。

保護管は、施工中および供用中の環境下において、ポリエチレン被覆と同様の性能を有している必要があり、一般ポリエチレン管（JIS K6761）が最も適している。

また、全素線塗装型は、積み卸し時における強い衝撃やワイヤロープ等によるこすれを防止するために木製等のドラム巻取りとして、保護層が損傷しないようにしている。写真-2に全素線塗装型の巻取り及び梱包状況例を示す。

また、全素線塗装型を長期間貯蔵する場合には、直射日光をさけ塗膜の劣化を避けることとしている。

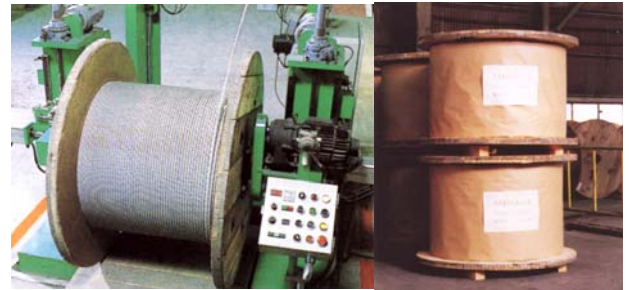


写真-2 巻取り及び梱包状況例

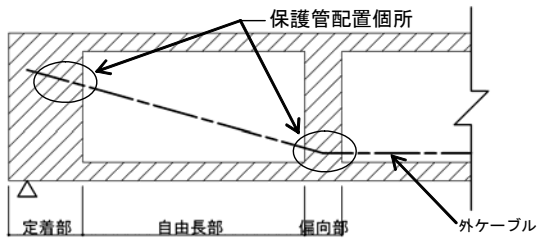


図-6 保護管の配置箇所

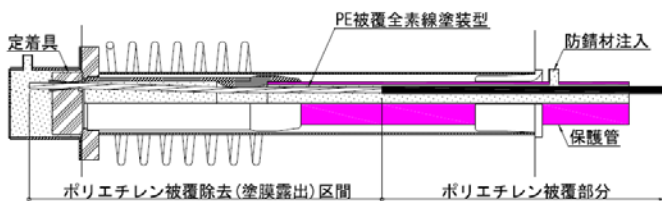


図-7 定着部ポリエチレン被覆除去区間

4. まとめ

全素線塗装型は、防食性能を有した汎用性の高いPC鋼材であり、本ガイドラインを参考にし、PC構造物の耐久性向上に合理的に利用されることを期待する。

謝 辞

本ガイドラインの作成にあたり、多大なるご指導、ご尽力を頂きました池田委員長ならびに、全素線塗装型PC鋼より線の合理的な適用に関する委員会の各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) (財)土木研究センター：建設技術審査証明報告書「SCストランド」(建技審証 第0434号)、2005
- 2) (財)土木研究センター：SCストランドとKT B定着具の定着性能確認試験報告書、2006
- 3) (財)土木研究センター：エポキシ樹脂全塗装PC鋼より線（全素線塗装型）の偏向部における性状試験報告書、2008

渡邊 武生*



財団法人土木研究センター
企画・審査部 次長
Takeo Watanabe

平井 圭**



黒沢建設株式会社
取締役 技術部長
Kei Hirai

福地 啓太***



黒沢建設株式会社
技術部 係長
Keita Fukuji