

# 高強度 PC 鋼より線用外ケーブル定着具の開発

極東鋼弦コンクリート振興(株) 技術部 正会員 ○菊池 厚  
正会員 渡辺孝司  
正会員 黒輪亮介

## 1. はじめに

近年、高性能材料を使用することにより PC 構造物の持続性を高め、ライフサイクルコスト (LCC) や環境負荷の低減といった課題を包括的に解決しようとする試みが各方面でなされている。この高性能材料として着目されている材料の一つに高強度 PC 鋼より線があるが、これは普通 PC 鋼より線に対し、およそ 19% の応力度の増加を期待できるもので、すでに実用に至った例もある。また、規準関連については、NEXCO 中日本東京支社において、設計施工指針が纏められ、PC 技術協会においても整備が進められている。しかし、現在のところ、これに対応した緊張システムを保有する定着工法は限られており、高強度 PC 鋼より線が普及するためには、各定着工法による緊張システムの開発が不可欠である。

本報告では、高強度 PC 鋼より線用に開発した定着具に対して、実施した各種性能試験の結果について報告する。なお、開発に際し対象とした高強度 PC 鋼より線は、内部充填型のエポキシ樹脂被覆高強度 PC 鋼より線 φ 15.7mm である。

## 2. 高強度 PC 鋼より線

今回対象としたエポキシ樹脂被覆高強度 PC 鋼より線 φ 15.7mm の機械的性質を表-1 に示す。なお、高強度 PC 鋼より線については、まだ JIS により規格化されていないが、各製造メーカーにより、JIS に該当する強度特性などが確認されている。表中の数値は、その製造メーカーによる保証値である。

表-1 エポキシ樹脂被覆高強度 PC 鋼より線 φ 15.7mm の機械的性質

種類	呼び名		公称断面積 (mm <sup>2</sup> )	0.2% 永久伸びに対する試験力 (kN 以上)	最大試験力 (kN 以上)	伸び (% 以上)	リラクセーション 1000 時間 (% 以下)
高強度 PC 鋼より線	7 本より	15.7mm	150.0	285	335	3.5	6.5
普通強度 PC 鋼より線		15.2mm	138.7	222	261	3.5	6.5

## 3. 開発の概要

前述の通り、高強度 PC 鋼より線は、およそ 19% の応力度の増加が図られており、また線径についても 15.2mm から 15.7mm に大きくなっている。このため、従来の定着具をそのまま高強度 PC 鋼より線に適用させることはできない。一方、高強度 PC 鋼より線を使う最大のメリットは、ケーブル本数を減じることができる点にある。特に近年では、コンクリートの部材断面がコンパクトになる反面、長スパン化に伴いケーブルの大容量化が進む傾向にあり、定着具や鉄筋の配置スペースを確保することが困難となっている。したがって、ケーブル数を減らせることは、設計や施工の煩雑さを解消できるという観点からも有益である。以上のことから、開発する定着具は、大容量ケーブルで最も使用実績の多い 19S15.2 に対応した外ケーブル用定着具をベースに行うこととし、高強度 PC 鋼より線を定着できるウェッジとこれを受ける定着ブロックの開発を行った。以下に、開発した定着具 (写真-1) に対し実施した各種性能確認試験の結果を報告する。



写真-1 高強度PC鋼より線用定着具 (19E-TC15H)

## 4. 定着具の性能試験

### 4.1 性能試験の概要

実施した性能試験を表-2 に示す。まず、高強度 PC 鋼より線用に開発したウェッジの基本的な性能を確認

するため、これを緊張材と組み合わせて引張試験を行った。試験方法ならびに合否判定は、コンクリート標準示方書の規準編および施工編に準じて行った。次に、定着具と緊張材を組み合わせた疲労試験を実施した。一般に、定着具付近の緊張材の疲労強度は、緊張材自身の疲労強度よりも小さくなる傾向にあり、また外ケーブルで使用する定着具は変動荷重が直接定着具に作用することになるため、定着具と緊張材を組み合わせた疲労試験を行って、この性能を確認する必要がある。ただし、疲労試験については、国内に明確な試験規準がないため、これまで国内で実施されてきた試験条件に加えて、FIP recommendation<sup>1)</sup>に記載のある条件も適用して行うこととした。定着具とコンクリートを組み合わせた性能試験は、コンクリート標準示方書の規準編および施工編に従い実施した。最後に、エポキシ樹脂被覆高強度 PC 鋼より線と今回開発した定着具を用いて、フレットング疲労試験を行った。

表-2 性能試験項目

性能試験項目		準拠規格
1	緊張材と組み合わせた性能試験	シングルストランド
		マルチストランド
2	疲労試験	シングルストランド
		マルチストランド
3	コンクリートと組み合わせた性能試験	土木学会 (JSCE-E 503-1999)
4	フレットング疲労試験	FIP recommendation

## 4.2 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験

### (1) シングルストランドによる性能試験

試験は、写真-2 に示す 3,000kN 横型引張試験機を用いて行った。緊張材の片端に定着具を取り付け、もう一端は試験機のチャックでつかんで引張試験を行う方法とした。

試験結果を表-3 に、試験後の供試体を写真-3 示す。今回開発したウェッジは、いずれもコンクリート標準示方書に定められている 95%以上の定着効率を有しており、規格破断荷重以上の引張荷重に対しても安全性を有していることが確認された。

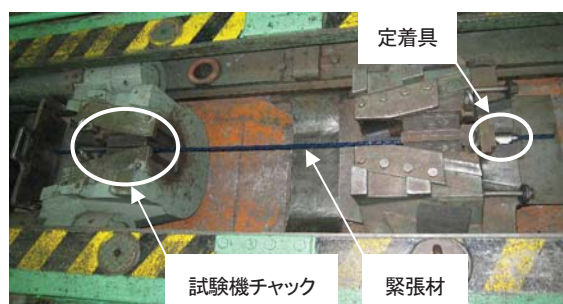


写真-2 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験装置 (シングル)

表-3 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験結果 (シングル)

試験体No.	破断荷重	定着効率
No. 1	356 kN	106%
No. 2	354 kN	106%
No. 3	350 kN	104%



写真-3 試験後の供試材

### (2) マルチストランドによる性能試験

試験は、図-2 に示す 10,000kN 試験機を使用して行い、緊張材の片端に定着具を取り付け、もう一端から緊張ジャッキにより緊張载荷する方法とした。载荷荷重は規格最大試験力の 95%に相当する 6,047kN を上限とし、緊張ジャッキの圧力 (=78.9MPa) で管理した。なお、本試験では、試験の安全性を確保するため、PC 鋼より線が破断するまでの载荷は行わず、この荷重を超えた時点で緊張ジャッキを除圧した。その結果、規格引張荷重の 95%に相当する荷重を载荷しても、PC 鋼より線に破断やスリップは認められず、荷重を安全に保持することができた (写真-4)。

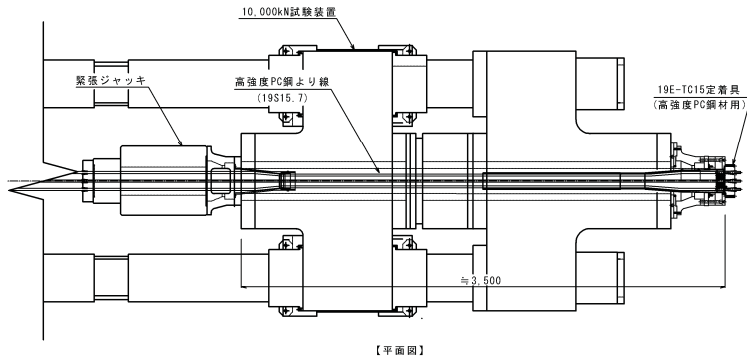


図-2 10,000kN 試験装置



写真-4 試験時の状況

#### 4.3 定着具と緊張材を組み合わせた疲労試験

##### (1) シングルストランドによる性能試験

試験は、図-3 に示す 500kN 型疲労試験機を使用して行い、緊張材の両端に定着具（ウェッジ・スリーブ）をセットし、軸引張疲労荷重を与える方法とした。ここで、疲労試験の条件は前述したとおり、これまでの実施例に沿ったものと FIP recommendation に記載のある条件に対して行った。前者の条件は、下限荷重を  $0.6P_u$  とし応力振幅を与えるもので、(財) 高速道路調査会より刊行されている手引き<sup>2)</sup>にも記載のある方法であり、これによれば応力振幅を  $100\text{N}/\text{mm}^2$  とし、200 万回の繰り返し載荷を行えばよいとされているが、本研究ではより安全側の結果を得るために、応力振幅を  $150\text{N}/\text{mm}^2$  と 1.5 倍に割り増して行った。また、後者については、上限荷重を  $0.65P_u$ 、応力振幅を  $80\text{N}/\text{mm}^2$  として 200 万回の繰り返し載荷を行うものであるが、これは本来マルチストランドシステムに対して要求される性能であるため、ウェッジ単体での性能確認を目的とする本試験では、前者と同様に安全側の結果を得るため、応力振幅を  $120\text{N}/\text{mm}^2$  と 1.5 倍割り増して実施することとした。試験結果を表-4 に示す。いずれの条件においても、200 万回以上の繰り返し載荷に対し PC 鋼より線の破断は見られず、今回開発したウェッジは十分な疲労性能を有していることを確認した。

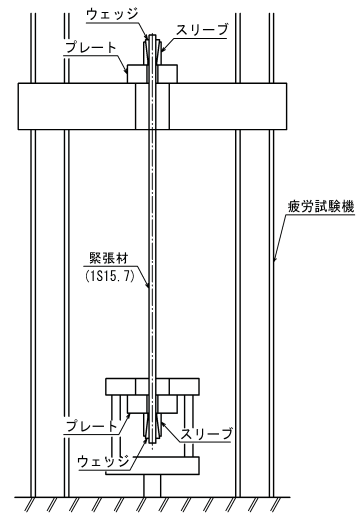


図-3 定着具の疲労試験 (シングル)

表-4 定着具の疲労試験結果 (シングル)

試験項目	No.	上限荷重	応力振幅 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	下限荷重	疲労試験の結果
疲労試験 シングル	1	223.5kN ( $\approx 0.67P_u$ )	150	$0.6P_u$ ( $\approx 201.0\text{kN}$ )	250万回未破断
	2	223.5kN ( $\approx 0.67P_u$ )	150	$0.6P_u$ ( $\approx 201.0\text{kN}$ )	250万回未破断
	3	$0.65P_u$ ( $\approx 217.8\text{kN}$ )	120	$199.8\text{kN}$ ( $\approx 0.6P_u$ )	500万回未破断
	4	$0.65P_u$ ( $\approx 217.8\text{kN}$ )	120	$199.8\text{kN}$ ( $\approx 0.6P_u$ )	500万回未破断

##### (2) マルチストランドによる性能試験

試験は、写真-5 に示す 500kN 型疲労試験機を使用して行った。試験機の下端に定着具が取り付けられるような専用のチェアを設置し、上端はその位置で PC 鋼より線が破断することのないよう配慮し鑄込み処理しておくこととした。なお、試験機の容量に制約があるため、19 個のウェッジ孔のうち、最も定着具内で PC 鋼より線の角度が大きくなる最外縁の 2 個のウェッジ孔を使い、2 本の PC 鋼より線を用いて行うこととした。載荷の条件は、FIP recommendation に記載のある条件と

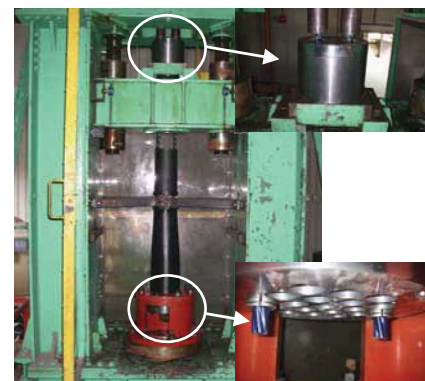


写真-5 定着具の疲労試験 (マルチ)

同様とした。試験結果を表-5に示す。同条件で3体の試験を実施したが、No.2およびNo.3は300万回の繰り返し载荷に対してもPC鋼より線の破断はなかった。

### 5. 定着具とコンクリートを組み合わせた性能試験

試験は、定着具の構成部品のうちガイドおよびトランペットを埋め込んで作製したコンクリート試験体を8MN耐圧試験機で圧縮载荷する方法とした(写真-6)。試験体は500mm×750mmの矩形断面で、埋め込んだガイドとトランペットは普通強度用のものを転用している。また、今回行った試験では、試験体断面の縁端距離や補強鉄筋量についても普通強度の場合と同条件とし、PC鋼より線の強度増加に対しては、試験時のコンクリート強度を40.7N/mm<sup>2</sup>と大きくすることで、性能を確保することとした。試験の結果、土木学会に規定されるPu(=6365kN)までの载荷に対し、安全に荷重が保持されることを確認した。

### 6. フレッシング疲労試験

エポキシ樹脂被覆高強度PC鋼より線の外ケーブルへの適用性を確認する目的で実施された偏向部のフレッシング疲労試験において、その両端に今回開発した定着具が使用された。試験は、図-4に示す装置中央部のアクチュエータで、偏向部を模擬したコンクリートブロックを繰り返し载荷することにより、PC鋼より線に応力振幅を与える方法である。これにより、偏向部はもとより定着部にも軸引張りと曲げによる繰り返し荷重が負荷されることになる。载荷は上限荷重を0.65Pu、応力振幅を50N/mm<sup>2</sup>とし、繰り返しの上限を300万回とした。その結果、偏向部、定着部ともに試験中のPC鋼より線の破断は認められず、疲労破壊に対し十分な安全性を有していることが確認された(写真-7)。

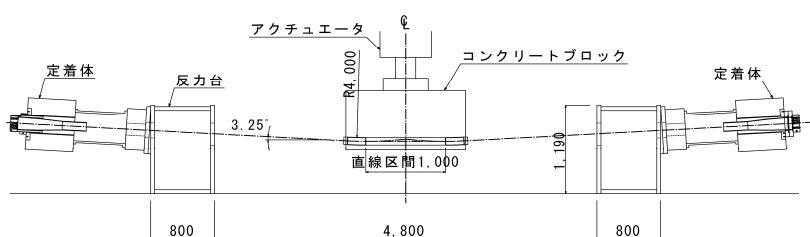


図-4 フレッシング疲労試験装置の概略図

### 7. おわりに

高強度PC鋼より線用に開発した19E-TC15H定着具の外ケーブルへの適用性を確認すべく、内部充填型のエポキシ樹脂被覆高強度PC鋼より線φ15.7mmを用いて各種性能試験を実施した。その結果、定着性能ならびに疲労性能ともに十分な安全性を有していることを確認した。本試験結果が、高強度PC鋼より線の普及、ひいてはLCCや環境負荷の低減といった課題解決への一助となれば幸いである。

最後に、今回行った性能試験には、横浜国立大学名誉教授の池田先生ならびに中日本高速道路株式会社 環境・技術管理部 酒井チームリーダーに御立会い頂き、ご指導ならびにご助言を賜りました。貴重なお時間を割いてご協力頂きましたことに厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) FIP Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems, 1993.
- 2) (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 平成22年2月

表-5 定着具の疲労試験結果(マルチ)

試験項目	No.	上限荷重	応力振幅 (N/mm <sup>2</sup> )	下限荷重	疲労試験の結果
疲労試験 マルチ	1	0.65Pu (=435.6kN)	80	399.6kN (≒0.6Pu)	200万回未破断
	2	0.65Pu (=435.6kN)	80	399.6kN (≒0.6Pu)	300万回未破断
	3	0.65Pu (=435.7kN)	80	399.6kN (≒0.6Pu)	300万回未破断



写真-6 定着具とコンクリートを組み合わせた性能試験



写真-7 フレッシング疲労試験の状況