

ポストテンション方式の炭素繊維複合材ケーブル用定着具の開発

極東鋼弦コンクリート振興 (株)	正会員	○岡田 稔
極東鋼弦コンクリート振興 (株)	正会員	渡辺孝司
東京製綱 (株)	正会員	榎本 剛
東京製綱 (株)		古瀬徳明

1. はじめに

PC 構造の要である緊張材として錆びないという大きな利点を有する炭素繊維複合材ケーブルの開発から 25 年以上経過している。しかし、残念ながらポストテンション方式の緊張材として採用された例は少なく、一般的に普及するまでに至っていない。その一方で、近年では経年した PC 構造物のストックの増大による維持管理費用の増加が問題となっており、新たに建設する PC 構造物では、高耐久化が熱望されている。炭素繊維複合材ケーブルは、炭素繊維とエポキシ樹脂によって構成された錆びる要因を持たない緊張材であり、ポストテンション用の緊張材として PC 構造物へ用いることができれば、PC 構造物の耐久性が飛躍的に向上すると考えられる。しかしながら、ポストテンション方式の緊張材として炭素繊維複合材ケーブルを用いるためには、いくつかの課題を解決する必要があった。まず一つ目が、一般的なくさび式定着具が適用できないという課題である。ポストテンション方式の定着システムは作業性やコストの面から、くさび式の定着具が一般的に使用されているが、炭素繊維複合材ケーブルは、その材料特性からくさび式の定着具を用いると緊張材の性能を十分に発揮できなかった。そのため、実用化に至っている定着具はケーブルの端部に工場などで定着具やその一部を取り付けるものが多く、PC 構造物の形式や施工方法によっては適用が困難な場合も少なくなかった。二つ目の課題は、炭素繊維複合材ケーブルが高価であることから、PC 鋼材を用いる場合に比べて建設時のコストが高くなることである。しかし、これは供用中のメンテナンス費用を含めるなどさまざまな方策を検討して、解決したいと考えている。そこで、前述の一つ目の課題を解決すべく、炭素繊維複合材ケーブル用のくさび方式の定着具をさまざまな改良と試験の繰り返しにより開発した。本論では開発した定着具の概要と各種性能試験に関して述べる。

2. 開発した炭素繊維複合材ケーブル用定着システム

2.1 従来の定着システムの課題と開発した定着システムの概要

開発した炭素繊維ケーブル用定着システムの概要を図-1に示す。従来の定着システムは、図-1に示す緊張側の定着システムを両端に用いていた。この定着具

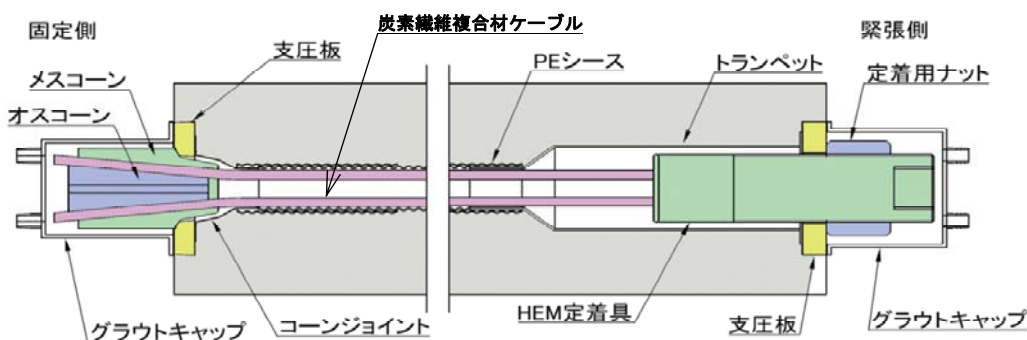


図-1 炭素繊維ケーブル用定着システムの概要

は特殊なセメント系の定着用膨張材 (HEM: Highly Expansive Material) を用いて緊張材を定着する構造¹⁾であり現場で取り付けることが困難であるため、工場でケーブルの両端にこれを取り付けてい

た。そのため、ケーブル挿入の際には、この定着具をシース内に通さなければならない、PC鋼より線を用いる場合に比べて非常に大きなシースを用いる必要があり、PC桁の断面にシースが納まらない、ケーブルの偏心量が小さくなりケーブル本数の増加に繋がるなどの課題があった。今回開発した定着システムは緊張側定着具と固定側定着具の異なる定着具から構成され、固定側定着具は現場でケーブル挿入後に取り付けることができるため、シース径を通常のPC鋼より線用の定着システムと同等の大きさまで小さくすることが可能となり、前述の課題を解決できた。

2.2 緊張材

適用できる緊張材は写真-1に示す炭素繊維複合材ケーブル「CFCC1×7-12.5φ」である。このケーブルを7本使用したマルチストランド「CFCC7-12.5φ」として本定着システムには使用する。これらの機械的性質を表-1に示す。この炭素繊維複合材ケーブルは、炭素繊維とエポキシ樹脂で構成されており、さびる要因の無い高耐久ケーブルであり、より線状で可とう性が良く、PC鋼より線に比べて超軽量であるという特徴を有している。

表-1 炭素繊維複合材ケーブルの機械的性質

項目	CFCC 1×7 12.5φ	CFCC 7-12.5φ
保証破断荷重 Pu	184kN	1288kN
有効断面積	76.0mm ²	532mm ²



写真-1 炭素繊維複合材ケーブル

2.3 緊張側定着システム

緊張側定着具は従来より使用されている定着具である写真-2に示すHEM定着具 (Highly Expansive Material定着具) を使用する¹⁾。この定着具はソケット内のセメント系の定着用膨張材にて炭素繊維複合材ケーブルを固定した定着具であり、ソケットの外周に設けたネジにて緊張定着を行うことができる構造となっている。今回、この定着具の汎用性を高めるため、従来よりもソケットの外径を小さくすることにより、定着システムとしてPC鋼より線用定着システムと同サイズまで小型化し、実際の橋梁の断面においても配置の制約を少なくなるように改良した。

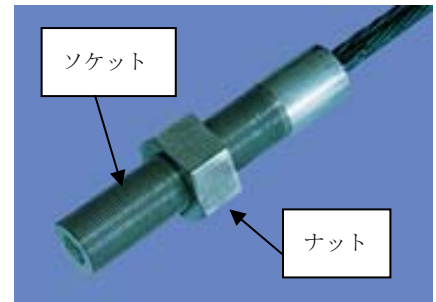


写真-2 HEM定着具

2.4 固定側定着システム

固定側定着具として、従来よりPC鋼より線用として広く使用されている1組のオスコーンとメスコーンで複数本の緊張材を定着できる定着具を開発した(写真-3)。炭素繊維複合材ケーブルに適用するために、定着具のオス・メスコーンを長くして緊張材に与える圧縮応力を緩和させる改良を施している。この定着具を用いた固定側定着システムはオス・メスコーンで緊張材を定着して、その荷重を支圧板を介してコンクリートへ伝達する構造となっている。

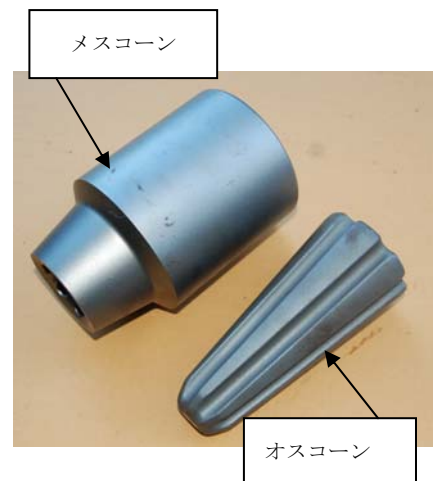


写真-3 固定側定着具

3. 開発した定着システムの性能試験

3.1 性能試験の概要

実施した性能試験を表-2に示す。本システムは、1組の定着具にて複数本の緊張材を定着するシステムのため、すべての試験において緊張材を7本使用したマルチストランドを使用した。

まず、定着具と緊張材を組み合わせた性能を確認するために引張試験を実施した。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。一般的に内ケーブル方式では定着具と緊張材はグラウトが充填されるため疲労試験は実施しないが、本システムは外ケーブルでの使用も視野に入れて疲労試験を実施した。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。疲労試験については、国内（土木学会コンクリートライブラリー133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）²⁾）や、海外（CIP³⁾、AASHTO^{4) 5)}、FIP recommendation⁶⁾）などの基準類を参考に最も厳しい条件にて試験を行うものと低荷重域での長期の疲労荷重を受けた場合の挙動を確認するものを実施することとした。

最後に、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。

表-2 実施した性能試験一覧

性能試験項目	準拠規準及び参考規準
定着具と緊張材を組み合わせた性能試験	土木学会 (JSCE-E 503-1999)
疲労試験	土木学会コンクリートライブラリー133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）、CIP、AASHTO、FIP recommendation
定着具とコンクリートを組み合わせた性能試験	土木学会 (JSCE-E 503-1999)

3.2 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験

試験は、図-2に示す10MN試験装置を使用して行い、緊張材の片端に固定側定着具を取り付け、もう一端（HEM定着具側）から緊張ジャッキにより緊張载荷する方法とした。载荷方法は、緊張ジャッキの圧力管理により保証破断荷重の95%（1224 kN）まで行った。試験結果一覧を表-3に示す。土木学会コンクリート標準示方書で定められている保証破断荷重の95%载荷時において、緊張材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）。

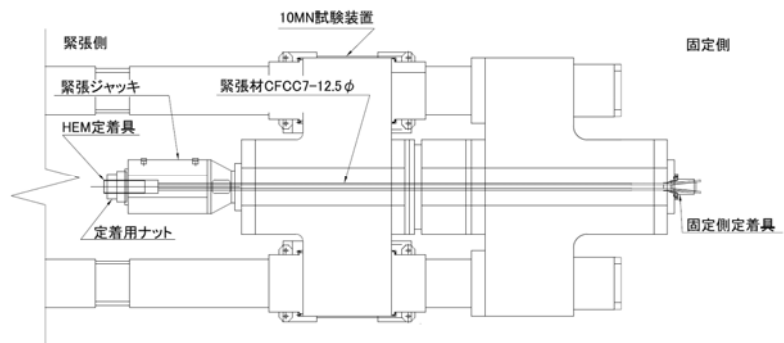


図-2 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験概要



写真-4 試験後の固定定着具の状況

表-3 定着具と緊張材を組み合わせた性能試験結果

No.	载荷荷重(kN)	試験結果
1	1224	緊張材の破断・スリップ無し
2	1224	緊張材の破断・スリップ無し
3	1224	緊張材の破断・スリップ無し

3.3 疲労試験

試験は図-3および写真-5に示す横型200tfパルセータを使用して行い、固定側に固定側定着具を取り付け、もう一端から軸引張疲労荷重を与える方法とした。疲労試験の条件は前述したとおり、国内と海外の基準類から試験条件が最も厳しくなるように下限荷重を保証破断荷重の65%（0.65Pu）、応力振幅を100N/mm²とし、200万回の繰り返し载荷を実施した（試験体数量2体）。また、低荷重域における長期の性能確認は、下限荷重を保証破断荷重の50%（0.5Pu）、応力振幅を50N/mm²とし、700万回の

繰り返し荷重を1体実施した。試験結果を表-4に示す。いずれの条件においても、所定の繰り返し荷重に対し緊張材の破断は見られず、今回開発した定着システムは十分な疲労性能を有していることを確認した。

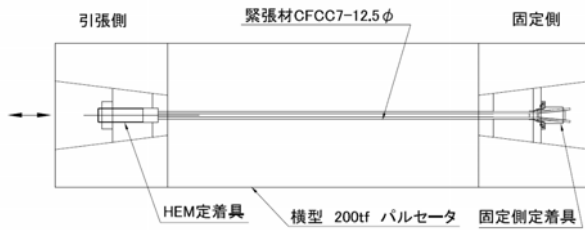


図-3 定着具の疲労試験の概要

表-4 定着具の疲労試験結果

No.	下限荷重	上限荷重	応力振幅	試験結果
1	837.2kN (0.65Pu)	890.4kN	100N/mm ²	200万回未破断
2	837.2kN (0.65Pu)	890.4kN	100N/mm ²	200万回未破断
3	644kN (0.5Pu)	670.6kN	50N/mm ²	700万回未破断

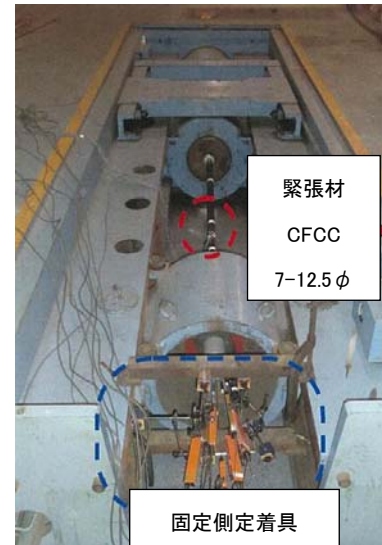


写真-5 疲労試験状況

3.4 定着具とコンクリートを組合せた性能試験

試験は、緊張側定着システムと固定側定着システムの両システムに対して実施した。定着具の構成部品のうち緊張時にコンクリートに埋め込まれている部材（支圧板およびコーンジョイントなど）を埋め込んで作製したコンクリート試験体を8MN耐圧試験機で圧縮荷重する方法とした。試験の結果、土木学会に規定されるPu (=1288kN) までの荷重に対し、安全に荷重が保持されることを確認した（写真-6）。



写真-6 試験状況

4. おわりに

開発した炭素繊維複合材ケーブル用定着システムの適用性を確認すべく、炭素繊維複合材ケーブルを緊張材として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。今後の課題として大容量（200 tクラス）の定着システムを開発し、橋梁への適用性を向上させる。本試験結果が、炭素繊維複合材ケーブルの普及、ひいては各種連続繊維補強材の普及やLCCの低減といった課題解決への一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 中村・木村・榎本・原田, HEMを用いたCFRPケーブルの大容量（2500 kN級）定着具の開発, 第10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, 2000. 10
- 2) 土木学会, コンクリートライブラリー133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, 平成22年8月
- 3) Cable stays Recommendation of French interministerial commission on Prestressing, June. 2002.
- 4) AASHTO, LRFD BRIDGE CONSTRUCTION SPECIFICATIONS 3rd EDITION, 2010
- 5) AASHTO, LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 4th EDITION, 2007
- 6) FIP Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems, 1993