

PC定着工法総論

辻 幸 和*

1. ま え が き

プレストレストコンクリート（PC）の特徴は、あらかじめコンクリートに圧縮力を与えることである。この圧縮力を発生させる緊張力を与えたPC鋼材などをいかに合理的にかつ経済的にコンクリートに定着させるかが、PCの大きな技術課題である。これまでも、種々の定着工法が開発されまた実用されているが、PCの技術の要として、これからも新しい定着工法が開発されることであろう。

本文は、1988年に改訂されたPC定着工法の特集から約10年が経過し、各種PC定着工法も時代の流れに対応して変化するとともに、新しい材料や工法も登場しているため、1988年（昭和63年）改訂版の総論¹⁾に基づいて、その内容を追加し修正したものである。

2. PC定着工法の略史

PCの各種定着工法は、昭和27年にMagneI工法によって東京駅のプラットフォームが施工され、同年にフレシネー工法が我が国に本格的に技術導入されて以来、昭和32年にBBRV工法、昭和33年にディビダーク工法等が次々に技術導入された。それとともに、我が国でも安部ストランド工法、MDC工法、OBC工法等が考案されてきた。

これらの工法に対し、昭和41年に土木学会コンクリートライブラリー第15号の「ディビダーク工法設計施工指針（案）」が制定されてから、昭和61年の第60号「アンダーソン工法設計施工要領（案）」まで、12工法について土木学会で、その設計施工指針（要領）が制定されている。その後、これらの工法の見直しがなされ、1991年3月に「プレストレストコンクリート工法設計施工指針²⁾」が制定された。この指針は、各種PC工法に共通する事項を共通編として取りまとめ、その後、各工法に特有の事項を定めている。この各種工法編には、ディビダーク工法、レオンハルト工法、VSL工法、BBR工法、FKKフレシネー工法、OSPA工法、OBC

工法、SEEE工法、およびアンダーソン工法の9工法が制定されている。

プレストレストコンクリート技術協会では、昭和52年に、「プレストレストコンクリート」Vol.19, No.3でPC定着工法について特集が組まれ、当時我が国で実績のあるポストテンション用の定着工法16工法が紹介された。その後、PC構造物の大型化に伴い、緊張力の大きなPC鋼材も多く使用されるようになったことにより、5年後の昭和57年に改訂版が組まれ、3工法の追加も行われて、PC定着工法19工法について紹介されている。

昭和63年（1988年）の改訂では、通常のPC定着工法は一般ケーブルとして大別し、そこに18工法が紹介されている。一般ケーブル以外には、斜張橋の斜材の定着工法あるいはシステムとして8種が、また、シングルストランドケーブル工法として8種のアンボンドケーブル工法として7種のグラウンドアンカーの定着工法として9種の工法あるいはシステムが、それぞれ紹介されている。

昭和63年（1988）の改訂以後は、PC鋼線およびPC鋼より線のJISG3536が1994年に改正され、リラクセーションの規格値を従来の100時間から1000時間の保持時間で定め、通常品と低リラクセーション品に大別して規定されるようになった。さらに、外ケーブル方式の採用や斜張橋とは異なるいわゆるエクストラドーズド橋の建造もなされ、また、連続繊維補強材による新素材ケーブルとそれらの定着装置、コンクリートの打込み後所定の材齢におけるプレストレスの導入以降にコンクリートとの付着が発揮できるアフターボンドケーブルも開発され一部実用されている。

以上、PC定着工法に関する現在までの経緯の概要を述べたが、ここでは昭和63年（1988年）改訂版以後のPC定着工法について述べる。

3. 現在使用されているポストテンション定着工法

平成7年度のポストテンション方式のプレストレスト

*プレストレストコンクリート技術協会編集委員会委員長・理事，群馬大学工学部教授

コンクリート受注実績は、文献³⁾によると図-1に示すような値である。9年前の昭和61年度に比べると、受注総額は約115%増、ポストテンションは約133%増、プレテンションは約75%増となっている。構造物では、道路橋および容器構造物が伸びている。

同文献によると、現在使用されているポストテンション定着工法は、表-1に示す25工法であり、そのうち国内で考案されたものが13工法含まれている。昭和63年改訂版でも掲載されなかった工法としては、クサビ式のフープコーン工法、スリーストランド工法の2工法とともに、プレロード工法が追加されている。また、同表には、土木学会で「設計施工指針」が規定されている9工法が※印で示されている。

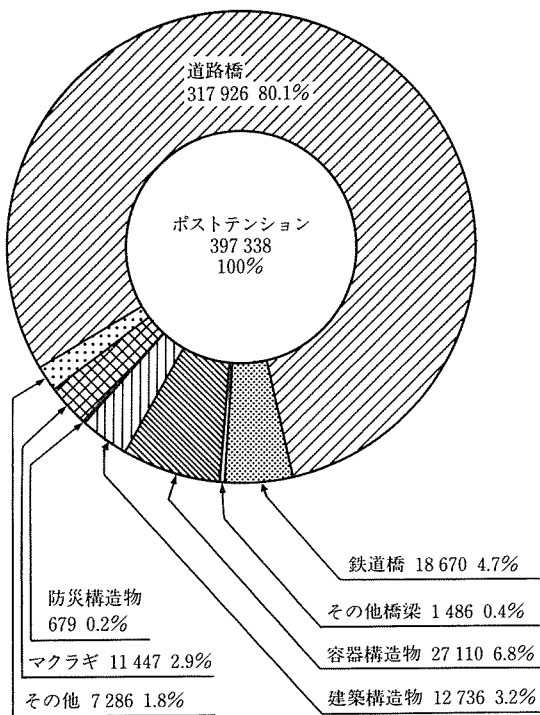


図-1 平成7年度 用途別受注実績

4. 緊張材と引張能力の共通表示

1991年に制定された土木学会の「プレストレストコンクリート工法設計施工指針」では、緊張材の共通表示と引張能力の共通表示を導入している。そして、各種工

法編に示す緊張材の構成内容に、これらの共通表示を記することにより、簡便に引用し参照することが出来るように配慮している。

緊張材の共通表示の例を、図-2に示す。緊張材中のPC鋼材の本数、PC鋼材の種類、公称径あるいは呼び名、および引張強度の種類を、それぞれ統一的に表示している。

引張能力の共通表示については、一般ケーブルにおいてPC鋼棒では、55ton型から95ton型、PC鋼より線では、15ton型から1620ton型、PC鋼線では、40ton型から610ton型まで、それぞれ5ton単位で表示している。

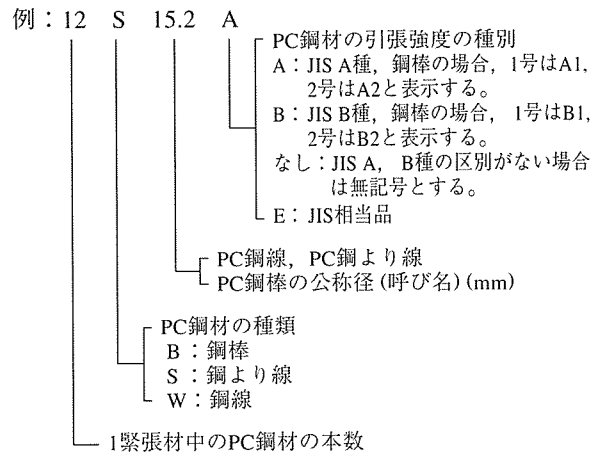


図-2 緊張材と引張能力の共通表示²⁾

5. 定着具および接続具の性能と試験方法

定着具および接続具は、定着または接続される緊張材のJISなどで規格されている引張荷重以下で破壊したり、著しい変形を生じることのないような構造および強さを有するものでなければならない。そのため、定着具および接続具は、土木学会の設計施工指針の各種工法編に規定されているもの、あるいは財団法人日本建築センターで評定を取得したもののようにより、性能の確かめられたものが用いられている。これらの評価を受けていない定着工法あるいは新しいシステムについての定着具および接続具の性能の試験方法としては、土木学会規準JSCE-E 503「PC工法の定着具および接続具の性能試験方法(案)」などが用意されている。

表-1 ポストテンション定着工法

	定着方式	工 法 名
1	クサビ式	アンダーソン*, CCL, FKKフレッシュナー*, フープコーン®, FSA®, KCL®, KTB®, OBC®*, SK®, SM®, SWA®, スリーストランド, ストロングホールド, STS®, TNC®, VSL*
2	ボタン式	BBR*, OSPA®*
3	ネジ式	ディビダーク*, FAB®, SEEE*, 普通PC鋼棒
4	ループ式	レオンハルト*, プレロード
5	合金式	安部ストランド®

注) ◎は国内で考案されたものを示す。
*は土木学会の設計施工指針に規定されたものを示す。

すなわち、定着具または接続具の性能を確認する場合には、JSCE-E 503などにより定着具をコンクリートと組み合わせた試験ならびに定着具および接続具を緊張材と組み合わせた試験を行い、それぞれ次に示す性能を確かめるのがよい。

1 定着具をコンクリートと組み合わせた試験

定着体は緊張材の規格引張荷重の100%以上に耐えることとする。

2 定着具および接続具を緊張材と組み合わせた試験

付着のない状態での静的引張試験で、定着具の定着効率および接続具の接続効率は、緊張材の規格引張荷重の95%以上とする。ただし、PC鋼材に加工を施したために定着効率および接続効率が95%未満の場合には、それが90%以上ならば新たに規格値を定めて使用してよい。

6. 緊張システムの選定方法

プレストレスを与えるための緊張システムは、構造物の種類、形状および寸法、所要のプレストレス力の大きさ、ならびに施工方法などを考慮して、最も合理的なものを選定することになる。緊張システムは、定着具とそれに付随する定着具筋から成る定着体と指定された緊張材、引張装置、シーすおよび補強材等から成るものである。その緊張システムには、緊張材の定着および接続の機構に特徴を有する種々の定着工法がある。これらの定着機構を整理すると、表-1の分類と少し異なるが、次のような型式のものとなる。

クサビ式：半径方向のクサビ作用または円周方向のクサビ作用を利用して、PC鋼線、PC鋼より線、平行に配置したPC鋼線群またはPC鋼棒を定着するもの。

ネジ式：PC鋼線またはPC鋼棒の端部にネジ転造加工を行って、ナットで定着するもの。

ボタン式：PC鋼線またはPC鋼棒の端部に製頭加工によって頭を作製して定着するもの。

合金式：低温で熔融する合金を用いて、多層PC鋼より線の端部を鋼製ソケットに鑄込んで定着するもの。

圧着グリップ式：PC鋼より線または多層PC鋼より線の端部の外側にスリーブを冷間引抜きなどによって圧着し、スリーブのPC鋼より線側端面の支圧で定着するか、またはスリーブの外側にネジを切ってナットで定着するもの。

ループ式：波状やループ状に曲げ配置したPC鋼線やPC鋼より線を直接コンクリートに埋め込んで、コンクリートとの付着または支圧によって定着するもの。

グラウト式：PC鋼材を何らかの方法でいったんアンカーヘッドに定着した後、これをプルロッドで緊張し、アンカーヘッドの背後に注入したグラウトが硬化した後に支圧と付着によって定着するもの。

それぞれの特徴を備えた定着工法は、緊張材1本あたりの引張力、定着具や接続具の形状および寸法、配置間隔などが異なっているのが一般的である。そのため、部材の種類や施工方法などに応じて、最適な緊張システムを選定することになる。

緊張システムの選定に関する設計フローの例を図-3に示す。この図において、特に緊張システムの仮定を行う場合、基本事項としては、以下の項目を考慮する。

- 1) ボンド方式かアンボンド方式か
- 2) PC鋼材の種類
- 3) 単位緊張材の引張力
- 4) セット量などの定着機構の機能上の特性
- 5) 定着部コンクリートの強度
- 6) 定着具および接続具の形状および寸法

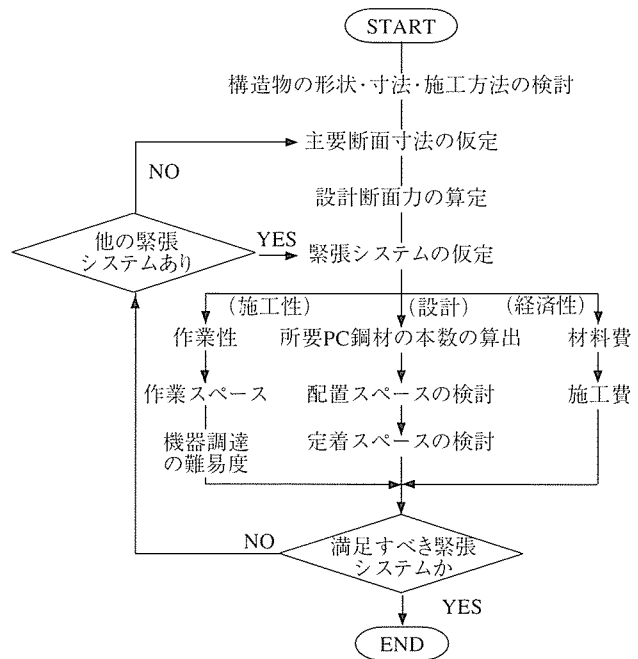


図-3 緊張システムの選定に関する設計フローの例²⁾

緊張システムの選定は、構造物全体としての経済性および耐久性は部分的な各事項の積み重ねでもあるという、構造物または部材の設計における基本原則を考慮した上で、総合的な評価に基づいて行うものである。

7. 各定着工法の分類

従来、PC定着工法は、表-1に示すような定着方式により分類されており、フレッシュ工法（現在はFKKフ

レシネー工法と称しているもので、以後はFKKフレシネー工法と記す)はクサビ式、ディビダーク工法はネジ式、BBRV工法(現在はBBR工法と称しているもので、以後はBBR工法と記す)はボタン式、レオンハルト工法はループ式などで、一般に理解されてきた。しかしながら、現状では、たとえばディビダーク工法でもPC鋼より線を用いたクサビ式定着も使用され、BBR工法は、従来のPC鋼線を用いたボタン式のほかに、PC鋼より線端部にボタンを製頭してクサビ式で定着するものもある。また、緊張定着具がクサビ式でも、固定定着具はボタン式や圧着グリップ式のものもある。したがって、定着工法名だけではどのような定着方式が使用されているのかがわかりにくくなっており、複雑化している。

そこで、緊張と定着の機能にそれぞれ着目すると、緊張されたPC鋼材を掴みそのまま緊張力を保持できる方式と、PC鋼材を掴む機構と導入された緊張力を保持および調整することの出来る機構を持つ方式に大別できる。前者は単一定着方式、後者は複合定着方式と称されている⁴⁾。

単一定着方式では、PC鋼棒の場合にはネジ(ナット)定着が用いられ、PC鋼線やPC鋼より線の場合にはクサビ定着および圧着グリップ(スリーブ)定着などが用いられる。

複合定着方式においては、PC鋼材を掴む機構には単一定着方式で用いられている方法のほかに、合金ソケットやボタンヘッドがあり、導入された緊張力を保持および調整する機構にはネジまたはシムが用いられている。したがって、この方式は一般ケーブルよりも斜張ケーブルに、一般ケーブルでは大容量の引張能力の場合にそれぞれ有効となる。一般的な定着方式と定着工法の関係を表-2に示す⁴⁾。

各定着工法は、定着具がPC鋼材やコンクリート部材に与える影響および定着具据付け時の施工性などに対してそれぞれ工夫されており、特徴のあるものとなっている。定着工法の中には、いくつかのシステムに細分類され、定着方式にも単一定着方式と複合定着方式の組合せがあるとともに、単一定着方式の中でもクサビと圧着グリップの定着具がそれぞれ採用されている工法もある。

一方、緊張力は、PC鋼より線15.2mmB種を多数本使用して定着することにより、緊張力1000ton級の定着工法の実績も増えてきている。

8. 取りあげた定着工法

本号では、PC構造物の緊張材を、一般ケーブル、斜張ケーブル、外ケーブル、シングルストランドケーブル、アンボンドケーブル、新素材ケーブル、アフターボンドケーブル、および特殊資材に分類して、各PC定着

表-2 一般的な定着方式と定着工法の関係

定着方式 \ 定着工法	単一定着方式					複合定着方式					
	ネジ	クサビ	圧着グリップ	ループおよびファン	グラウト	クサビ+ネジ	圧着グリップ+ネジ	ボタンヘッド+ネジ	合金ソケット+ネジ	クサビ+シム	ボタンヘッド+シム
安部ストランド									◎		
アンダーソン		◎									
レオンハルト				◎							
BBR		◎						◎			◎
CCL		◎	○								
ディビダーク/鋼棒	◎										
ディビダーク/ストランド		◎									
フープコーン*						◎					◎
FAB	◎										
FKKフレシネー		◎	○			◎					
FSA		◎									
KTB						◎	◎				
レオパ*					◎						
MDC*						◎					
OBC		◎									
OSPA								◎			
SEEE		◎	◎				◎				
ストロングホールド		◎	○								
SWA		◎									
スリーストランド*		◎									
TNC		◎									
VSL		◎	○			◎					
普通PC鋼棒	◎										
KCL		◎	○								
SM		◎	○								
SK		◎	○								
STS		◎	○								
プレロード			◎								

*割愛した定着工法
◎主として緊張定着具
○固定定着具

工法の概要を紹介している。

a. 一般ケーブル

本号で紹介する一般ケーブルとは、昭和63年版と同様に、PC定着工法の機能および用途の分類において、本誌編集委員会で便宜上つけた名称で、一般のPC構造物において通常の使用に供されているPC鋼材の総称である。本号では、それぞれの工法の定着システムごとに、緊張容量、定着具、使用するPC鋼材およびシースを示し、続いて定着具やPC鋼材を1単位の緊張材として組み立てる方法、緊張方法およびPC鋼材の接続方法などについての概要を述べている。

b. 斜張ケーブル

斜張橋の斜材として一般に用いられている高強度のケーブル(以下、斜張ケーブルと記す)は、その重要性が高く、斜張ケーブルの不具合は、橋梁の破壊へもつながりかねないものでもある。斜張ケーブルは、通常の桁

内に配置されているPCケーブルとは異なり空中に露出しているため、耐久性上の配慮、活荷重による変動応力の影響が大きいことによる疲労への配慮、および車の衝突や火災といった事故への配慮などを、斜張ケーブルの選定および設計において十分検討しておくことが必要である。

斜張ケーブルの選定にあたっては、計画される斜張橋ごとに、引張能力、応力変動、ケーブルの配置、桁および塔の斜材の定着構造、架設方法、環境条件などが異なることから、細部にわたって検討し、最も適合する斜張ケーブルを選定するのがよい。

PC斜張橋の斜張ケーブルとしては、一般にPC鋼より線、PC鋼線、PC鋼棒が多く用いられている。P.W.S. (Parallel Wire Strand) の使用も多くなってきたが、L.C.R (Locked Coil Rope) の使用実績は、我が国のPC斜張橋ではわずかである。

なお、我が国におけるPC斜張橋の実績では、一般ケーブルを斜張ケーブルとして用いた例も多く、橋梁の規模や構造特性によっては、斜張ケーブルとして取りあげた定着工法以外のものについても選定することが出来る。

c. 外ケーブル

一般ケーブルの内ケーブル方式によると、部材の断面形状寸法が緊張材の配置方法に依存することになるが、断面の外側に配置する外ケーブル方式ではこのような制約がなくなり、ウェブ厚やフランジ厚を低減することが可能となる。また、偏心量を大きく取ることにより、経済化を図ることも出来る。その反面、外ケーブルでは、ケーブルの防錆、定着部への負担増などの外に、デベिएータ (偏向部) の配置方法やその近傍の補強方法に十分な検討が必要である。

d. シングルストランドケーブル

シングルストランドは、太径のPC鋼より線をジャッキにより一本ずつ緊張し、定着していく工法である。現在我が国で用いられている工法の緊張側の定着方式は、ほとんどがクサビ式であり、スリーブと呼ばれる鋼製の円筒とウェッジと呼ばれる鋼クサビ、およびアンカープレートと呼ばれる支圧板により定着される。なお固定側は、クサビ式および圧着グリップ式の定着具が用いられている。

シングルストランドは、比較的小さな緊張力を分散配置することが求められる橋梁の横締めや建築の床版、梁などに使用されることが多い。

e. アンボンドケーブル

PCグラウトの注入などの施工の省力化を図るため、

コンクリートとPC鋼材との間に付着を生じさせないいわゆるアンボンド工法を採用することがある。その場合には、被覆材料を表面に施したPC鋼材を用いる方法と、シースの中にワックス等を注入する方法とが採用されている。前者の方法を採る場合におけるPC鋼材の被覆材料を施したPC鋼材の定着部分および接続部分については、被覆材料を取り除き、所定の装置あるいは器具により定着および接続が十分に出来るように留意することが肝要である。

f. 新素材ケーブル

プレストレスを導入する緊張材には、PC鋼材が一般的に用いられている。しかしながら、近年新しい緊張材の研究開発が活発であり、防錆対策上から、炭素繊維およびアラミド繊維などをプラスチックなどで成形した連続繊維補強材のいわゆるFRPなどが緊張材として用いられ始めている。なお、このケーブルを用いたコンクリート構造物の設計施工指針が、土木学会で制定されている⁵⁾。

g. アフターボンドケーブル

コンクリートの打込み後所定の材齢においてプレストレスを導入した後、コンクリートとの付着が発揮できるアフターボンドケーブルは、シースの配置とPCグラウトの注入が不要のため、部材厚の減少や施工の省力化が図れる。床版部の横締めなどに用いられている。

9. おわりに

昭和63年 (1988年) 改訂以後のPC定着工法の現状を簡単に述べたが、従来の橋梁や建築を主体に使用されていた以外に、PC定着工法が種々の構造物にも使用されるようになり、また定着工法そのものの種類も増え、複雑化してきている。しかし、それぞれの定着工法を整理すると、本文のように体系化することも可能のように思われる。また、PC定着工法に対する設計施工指針も改訂され、PC構造物の設計施工、特に設計の容易化がなされている。本文がPC構造物の更なる建造の増加に寄与する一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 秋元泰輔：PC定着工法総論，プレストレストコンクリート，Vol.30，特別号，1988年12月
- 2) 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，コンクリートライブラリー66，平成3年3月
- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート，第23報，1996年版
- 4) 箕作光一：一般ケーブル，プレストレストコンクリート，Vol.30，特別号，1988年12月
- 5) 土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針 (案)，コンクリートライブラリー83，平成8年9月