

# PC 定着工法の歴史

横田 勉\*

## 1. はじめに

1950年以降の日本におけるプレストレストコンクリート（以下、PCと略す）のめざましい発展の時代、設計・施工技術の進歩、コンクリートとPC鋼材の材料的進歩とともに、その発展の原動力となった技術がPC鋼材を緊張して定着するPC定着工法の進歩にあったことは、PC技術に携わる誰もが認めるところであろう。高強度のPC鋼材へ弾性限界に近い引張力を与えたのち、これを確実に定着し、安定した状態を保持し続ける技術は、材料面・解析面で発展した現在にあっても、高度の技術力を必要としている。

本稿では、PC技術の黎明期にあって、その礎を築いたフレシネーの業績を讃えるのは無論のこと、数多くの英知と工夫が、さまざまなPC定着工法を生み出してきたことに着目したい。現在のような解析技術・実験設備も十分にはなかった時代に、卓越したアイデアを抱き、試行錯誤と地道な実験の繰り返しによって、各種の定着工法を開発し、発展させてきた先達の努力に何よりの敬意を表するものである。

## 2. 初期のPC定着工法

### 2.1 フレシネー工法の導入

PC技術の研究開発と実用化にもっとも貢献したフランスの技術者E・フレシネー（1879～1962年）は、1928年フランスにてPC技術の基本特許ともいわれる特許を出願した。翌1929年には日本政府に優先権主張により出願し、1932年に特許第96254号『補強「コンクリート」製品ノ製造方法』として登録された。この特許の内容は、プレテンション方式、ポストテンション方式を問わず、緊張材もPC鋼棒、鋼線を問わない広範囲な基本特許ともいわれるものであった。

このフレシネーの特許は第二次大戦が終結するまでその存在に着目されることもなく、終戦前のPCに関する技術情報はドイツにおけるE・ホイヤーらのプレテンション部材の製造技術が紹介されたのみに留まった。一方、同時期

にすでにフレシネーは独創的なアイデアで、ポストテンション方式の緊張・定着システムを考案し、1939年には特許出願を行った。この時の特許の内容こそ、1950年代からわが国で多用されたフレシネー工法の定着具とジャッキシステムであったり。

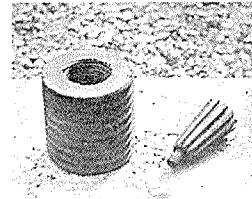


図-1 1950年代のフレシネー工法の定着具<sup>2)</sup>  
(モルタル製の雌コーンと雄コーンで構成)

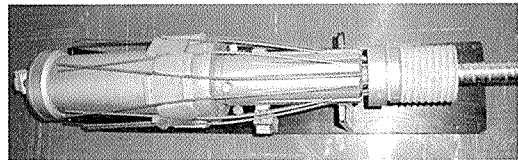


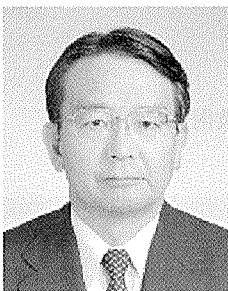
図-2 1950年代のフレシネー工法のジャッキ  
(PC鋼線12-φ5mmの緊張・定着用)  
写真：FKK極東鋼弦コンクリート振興(株)協力

1952年7月には、極東鋼弦コンクリート振興(株)（当時）が設立され、フランスSTUP社（当時）とのフレシネー工法に関する国内各社との特許の再実施権契約を締結し、同工法の本格的導入が開始された。これらの経緯はPC技術の特集したPC技術協会誌（Vol.42, No.6, Nov. 2000）にて、鈴木素彦氏が詳細に記述している<sup>3)</sup>。

### 2.2 日本におけるPC技術の実用化

日本においてPC技術の研究が本格的に開始されたのは1944年頃からで、当時の国鉄の鉄道研究所の仁杉 巖氏や猪俣俊司氏らの研究でプレテンション方式の実用化に加えてポストテンション方式の基本的な研究も行われた<sup>4)</sup>。

PC技術の工業化はプレテンション部材の製造から始まった。1950年には、石川県の東日本重工業七尾造船所（現(株)ピーエス三菱 七尾工場）にプレテンション部材製作用アバットが設置され、翌年1951年に日本で最初のプレテンション方式のPC道路橋の長生橋の主桁が製作された。また、同時期には東京都府中市の外山軌材（旧日本鋼弦コンクリート(株)の前身）での旧国鉄PCまくら木の生産が開始された。



\* Tsutomu YOKOTA

オリエンタル白石(株)  
執行役員土木技術部長

一方、ポストテンション方式では、1951年に東京駅の6、7番線プラットホームにマニュアル工法による支間10mのポストテンション桁が架設された。1953年には最初のポストテンション方式のPC鉄道橋として、東京都のオリエンタルコンクリート多摩工場（当時）への国鉄引込み線の光弦橋が施工された<sup>5)</sup>。マニュアル工法はベルギーのG.マニュアルが考案したもので、PC鋼線φ5mmを2本ずつ羽子板状のくさびでサンドイッチプレートと呼ばれる定着板に定着する構造である。プレート1枚あたり8本のPC鋼線が定着され、4～5枚のプレートが配置されて1ケーブルを構成することから、800～1000kN/ケーブルのプレストレスが導入できたものと思われる（図-3）。

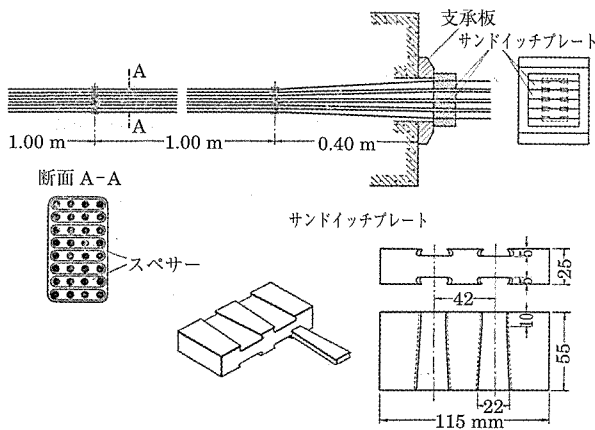


図-3 マニュアル工法の定着具<sup>6)</sup>  
(ケーブル断面とサンドイッチプレート)

### 3. 各種のPC定着工法の開発と技術導入

1956年にフレシネー工法の日本における基本特許の有効期限が終了すると、各種のPC工法が一斉に導入された。1950年代には、BBRV工法（現BBR工法1957年、スイス）、ディビダーク工法（1957年ドイツ）、バウル・レオンハルト（1959年、ドイツ）などが、1960年代には、プレロード工法（1960年、アメリカ）、SEEE工法（1968年、フランス）、VSL工法（1968年、スイス）、CCL工法（1970年、イギリス）など、現在も使われている各種の定着工法が導入された。この時期には、欧米各国からの技術導入とともに独自の国産工法も開発された。安部ストランド工法（1955年）、SWA工法（1959年）、スリーストランド工法（1960年）、SM工法（1960年）、MDC工法（1960年）、OSPA工法（1963年）、OBC工法（1965年）、フープコーン工法（1965年）、KTB工法（1973年）などの国産工法がこの時期に精力的に開発された。

これらの定着工法のうちいくつかは廃止されたものもあるが、多くは改良や機能追加を重ねて、現在では25工法におよぶPC定着工法が提供されている<sup>9)</sup>。かざられた誌面で、改良を重ねた各種定着工法のすべてについて紹介することは不可能である。ここでは、定着のメカニズムによって分類し、技術導入もしくは開発された当時の代表的なPC定着工法について技術的な特徴を解説するに留める。

開発当時の定着方法を、くさび方式、ボタンヘッド方式、ねじ方式、スリーブ方式、その他の方式に分類し、各種の定着工法について概説する。

#### 3.1 くさび方式による定着工法

くさび方式による定着工法は、鋼材と定着具の間にくさび状の鋼部材を挿入して、鋼材が軸方向に引き込まれる力を横方向の分力を利用して鋼材の拘束力を増加させて定着するシステムといえる。この方法は、PC鋼材の事前加工や切揃えを必要とせず、PC鋼材の管理が簡単であることに大きなメリットがある。国内の定着工法のおおよそ六割の工法で、くさび作用を利用した定着方式を供給している。定着時にはPC鋼材が数mm引き込まれることからセット量が発生して、緊張端に張力損失が生ずる。

くさび作用を利用した定着工法には、種々の定着方法が開発されてきたが、主な工法を以下の3つのタイプに大別して特徴を述べることにする。

- ① 多数のPC鋼線もしくは、PC鋼より線を同時に緊張し、一つのくさびでコーン定着体に一括して定着するフレシネー工法やアンダーソン工法などの初期の定着方式。
- ② PC鋼より線1本ごとをおのおののくさびでアンカーディスクなどの定着体に定着するVSL工法やストロングホールド工法などのストランドの定着方式。
- ③ 太径PC鋼より線を単独でくさび定着するシングルストランド工法。

##### (1) フレシネー工法（現FKKフレシネー工法）

PC定着工法の草分けであるフレシネー工法では、日本に導入された1950年代のマルチワイヤーシステムの定着具には、プレキャストモルタル製の雌・雄コーンを使用してきた（図-1）。PC鋼材には、PC鋼線φ5mmとφ7mmが標準的に用いられ、初期の国内のポストテンション方式のPC橋の主方向ケーブルと横締めケーブルに数多く使用されてきた。フレシネーが開発した当初の定着方法と基本的な変化はなく、完成度の高い最古の定着工法といえる。フレシネー工法の特徴は、1ケーブルあたり12本のPC鋼線を配置して一括緊張したのち、雄コーンを雌コーンに押し込んで、鋼材方向のくさび効果で一括して定着することであった。また、緊張時には定着部のPC鋼線を定着コーン中心から外側に広げて配置し、緊張ジャッキの外側面の鋼製くさびで保持して緊張するため、緊張ジャッキがコンパクトでシンプルな構造となったことも特徴的であった（図-2）。

1961年には、PC鋼より線12-φ12.4mmを対象とした大容量のストランド定着システムがSTUP社（当時）から導入された。プレストレス導入力はマルチワイヤーシステムPC鋼線12-φ7mmの2.5倍となり、支間の長大化や鉄道橋への適用性が向上、旧国鉄の鉄道橋の鬼怒川橋梁（栃木県）で最初に採用された。ストランド用の定着具は、雄・雌コーンが共に鋼製となったもののマルチワイヤーシステムのもつコンパクトで合理的なシステムを踏襲している。経済性と施工性から広く用いられPC構造物の大型化、長大化に貢献した定着工法で、現在も広く活用されている（図-4）。

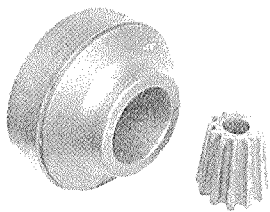


図-4 フレシネー工法のストランド用鋼製定着具<sup>7)</sup>

## (2) VSL 工法

VSL 工法は、スイスのロージンガー社が1958年に開発した定着工法で、1968年に日本に導入された。この工法は、一括緊張した多数のストランドを一本ごとにくさび定着するマルチストランドシステムである。大型のアンカーヘッドに多数のPC鋼線を必要なだけの本数を配置できるため、緊張力を自由に設定でき、大容量のプレストレスを導入することに適したシステムとなっている(図-5)。

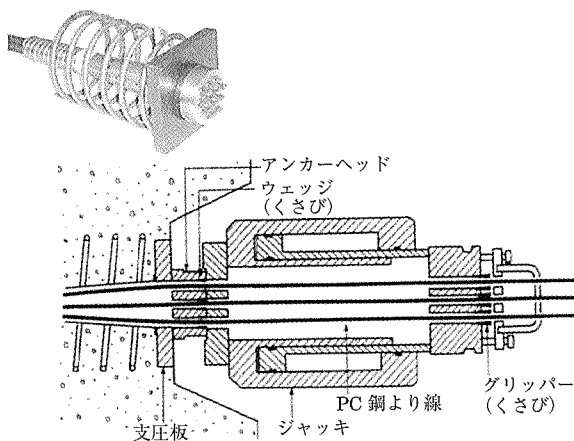


図-5 VSL 工法の定着部と緊張システム<sup>8)</sup>

このマルチストランドシステムでは、センターホール型の大容量ジャッキを使用して、中央に配置されたストランドを一括して緊張する。VSL 工法では、緊張時に「くさび押さえ」の付いたジャッキチェアーを使うことで、くさびの位置を保持しながらスムーズな緊張作業を可能としている。その一方で定着時には自動的にくさびが引き込まれていく自動的な機構となっている。そのため、伸びの大きい長大ケーブルの盛換え緊張も簡単に行うことができることが特徴となっている。このシステムの自動的な盛換え機構の特徴を生かしたものとして、重量物の揚上、降下、移動作業を行う VSL リフティング工法がある。1972年には日本航空成田第一ハンガーの格納庫屋根(質量5000t)の揚上作業がこのシステムを使用して行われた。

一括緊張したストランドを個別にくさび定着するタイプのマルチストランドシステムとしては、KTB 工(1973年、黒沢建設(株)開発)、ストロングホールド工法(1978年、英国ストロングホールド社より導入)などがあるが、近年では主要な定着工法の各社で同様のマルチストランドシステムを提供している。

## (3) シングルストランド工法

シングルストランド工法は、太径のPC鋼より線を単独で緊張・定着するもので、比較的緊張力の小さい定着工法となる。この工法は1971年に英国のCCLシステム社からCCL工法の一つとして技術導入されたもので、自動化された緊張装置を用いた施工性が評価され、橋梁の横締めなどに利用されて次第に普及した。CCL工法以外の各定着工法も同様のシステムを提供したことから、これらを総称して「シングルストランド工法」と呼ぶことになった。各工法によって対象とするPC鋼より線の範囲は異なるが、7本より12.4mmから19本より28.6mmのPC鋼より線を対象としている。シングルストランド工法は、雌コーンに相当するスリーブと雄コーンに相当するウェッジのくさび作用にてPC鋼より線をつかみ、支圧板に張力を伝達するシンプルな機構となっている(図-6)。

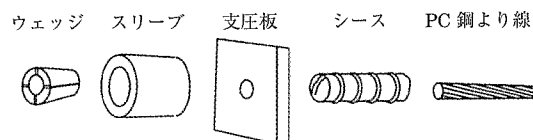


図-6 シングルストランド工法の概念図<sup>9)</sup>

緊張作業後の定着時には、ダブルアクション機能を内蔵した専用ジャッキが自動的にウェッジの押し込みを行うもので、作業性がきわめて良いシステムとなっている。

シングルストランド工法は、BBR工法、CCL工法、FKKフレシネー工法、FRM工法、KCL工法、OBC工法、SK工法、SM工法、STS工法、VSL工法の各工法がそのメニューの一つとして用意している。近年、アンボンドPC鋼材とプレグラウトPC鋼材の普及によって、これを緊張・定着するシングルストランド工法の使用量はますます増加している。

## (4) その他のくさび方式の定着システム

前項までの各工法のくさび作用は、PC鋼材の軸方向引き込み力を中心方向の圧縮力に変換してPC鋼材のグリップ力を確保したものであるが、円周方向のくさび効果を生かした複合的な、くさび効果を期待したものも開発された。

SWA工法は1959年に当時の別子建設(株)(現三井住友建設(株))が開発した工法で、OBC工法は1965年に当時のオリエンタルコンクリート(株)(現オリエンタル白石(株))が開発した工法である。それぞれの工法で、くさびの形状は異なるが、複合的なくさび作用で共に定着具を薄くすることができ、建築部材の柱・梁接合部など定着部を配置する奥行きのない部位に多く用いられた国産の定着工法である(図-7)。

## 3.2 ねじ式定着工法

### (1) ディビダーク工法

1958年には、PC鋼棒を対象としたディビダーク工法がドイツのDyckerhoff & Widmann社から技術導入された。ディビダーク工法は、PC鋼棒端部に設けた非対称転造ネジにカラーナットを設置し、アンカープレートもしくはアンカ

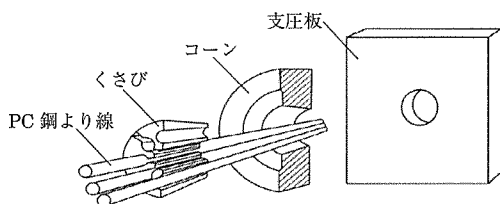


図-7 複合くさび定着の概念図<sup>9)</sup>

ーグロックを用いて定着するものである。PC 鋼棒は、 $\phi 26$  mm と  $\phi 32$  mm を対象としており、専用のセンターホールジャッキで緊張・定着するもので、PC 鋼棒の伸びを精度良く管理できる。

$\phi 32$  mm 用のアンカークロックは、定着体が背面コンクリートの割裂力を拘束するコンファインド効果を有するもので、背面補強鉄筋を不要とする特徴的な定着システムである(図-8)。PC 鋼棒の接続には、カップラーが用いられ、長大橋建設技術の幕開けとなったカンチレバー工法の定着工法に多く用いられた。国内初のディビダーク工法によるカンチレバー架設は、1959年神奈川県嵐山橋で実施された。

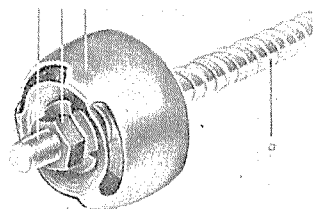


図-8 ディビダーク工法アンカークロック<sup>7)</sup>

## (2) SEEE 工法

SEEE 工法は、1968年にフランス S.E.E.E.社より導入された PC 定着工法である。同工法の F 型では、多層により合わせた PC 鋼より線を使用し、鋼材の端部には、冷間押出しによってスリーブを圧着している。スリーブの外周には、ねじ加工を施し、センターホールジャッキにて緊張したスリーブをナットにて支圧板に定着する特徴的なシステムである(図-9)。

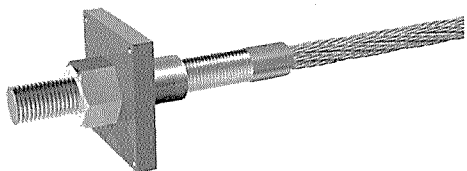


図-9 SEEE 工法 F 型定着システム<sup>10)</sup>

SEEE 工法 F 型では、PC 鋼より線を多層により合わせることから、1 ケブルあたり 400 kN の小容量のものから 3 000 kN に近い緊張力を有するものまで、工場製作のプレハブ PC 鋼材として現場に供給される。また、PC 鋼棒と同

様に定着時のセットロスも無く、カップラーによる接続も容易なため、連続桁の分割施工などに適した定着工法として市街地の連続高架橋に多く用いられ、発展期の PC 橋の連続化・大型化に貢献した。1975年には、首都高速 573 工区、大阪堺市の宿院高架橋などの多径間連続版桁橋が施工された。

## (3) 普通 PC 鋼棒の定着工法

普通 PC 鋼棒は、1955年ころに開発されてから、PC 橋の横締めや PC タンクの鉛直 PC 鋼棒などに使用されてきた。PC 鋼棒は 1971年に JIS 化され、製造方法によって、圧延鋼棒、熱処理鋼棒、引抜き鋼棒の 3 種類に大別されている。

使用する PC 鋼棒は  $\phi 17 \sim 32$  mm で、PC 鋼棒の両端部には転造ねじが加工され、センターホールジャッキで緊張されたのち六角ナットでアンカークラケットに定着される。

1984年には、大成建設(株)、川田建設(株)、神鋼鋼線工業(株)の 3 社によって FAB 工法が開発された。PC 鋼棒  $\phi 26$  と  $\phi 32$  mm を対象とした定着工法で、施工精度を高めるキャストイン定着具がシステムの特徴となっている。

## (4) バイプレ工法用圧縮 PC 鋼棒

1984年、オリエンタルコンクリート(株)(現オリエンタル白石(株))によって開発されたバイプレストレスング工法では、主げた上縁に圧縮 PC 鋼棒が配置されている。

圧縮 PC 鋼棒は、熱処理 PC 鋼棒の  $\phi 26$ ,  $\phi 32$  mm が使われ、主げた上部の定着用切欠き部に配置した異形アンカークラケットにナットで定着される。圧縮 PC 鋼棒には、後部のジャッキ用の切欠きに設置したセンターホールジャッキを作動させて、コンプレッションロッドを介して圧縮力を与えるシステムである(図-10)。

バイプレ工法は、1984年に福岡県の川端端側道橋にて最初に施工された。

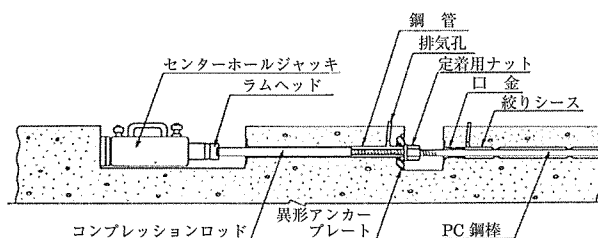


図-10 バイプレ工法の圧縮 PC 鋼棒定着部<sup>11)</sup>

## 3.3 ボタンヘッド加工式定着工法

### (1) BBRV 工法

BBRV 工法がスイスの BBR 社から技術導入されたのは 1957年で、フレシネーの基本特許の有効期限の翌年であった。現在の BBR 工法 V システムにあたるこの定着工法は、PC 鋼線  $\phi 5$ ,  $\phi 7$  mm の各素線の端部に冷間加工を行いボタンヘッドを形成した PC 鋼線束を用いるシステムである。

この定着システムは、内外面にねじを有する肉厚円筒形のアンカーヘッドにあけた複数の孔に PC 鋼線を通してから、専用の製頭機によってボタンヘッド加工を行い、アンカーヘッドにすべての PC 鋼線素線を止めるものである。

BBR 工法 V システムは、PC 鋼線をシースに通した状態で、両端にアンカーヘッドを装着してヘッド加工を行ったケーブルユニットとして現場に搬入される。

緊張作業は、中心部にテンションロッドが通過する専用のセンターホールジャッキでアンカーヘッドを引き出ししながら緊張し、外側のナットでアンカーヘッドを支圧板に定着するものである (図 - 11)。

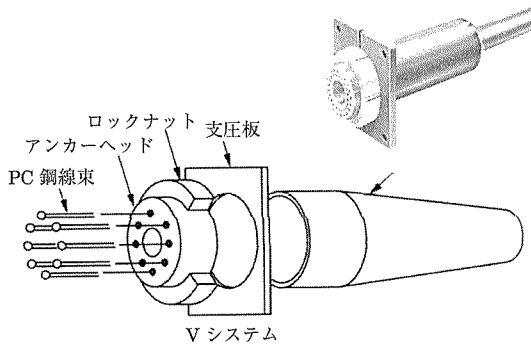


図 - 11 BBR 工法 V システムの概要<sup>9)</sup>

### (2) OSPA 工法

OSPA 工法は、1965 年に当時のオリエンタルコンクリート (株) (現オリエンタル白石 (株)) が開発したもので、前項の BBRV 工法と同様に PC 鋼線の素線端部をボタンヘッド加工してアンカーヘッドに止めてから緊張し、外側のナットで定着する複合システムである。前項の BBRV 工法と異なるところは、素線の端部加工形状をハンマーヘッド形状として、アンカーヘッドに切られた六箇所溝の部分に嵌め込むことで現場でのケーブル組立てを可能にしたことにある。

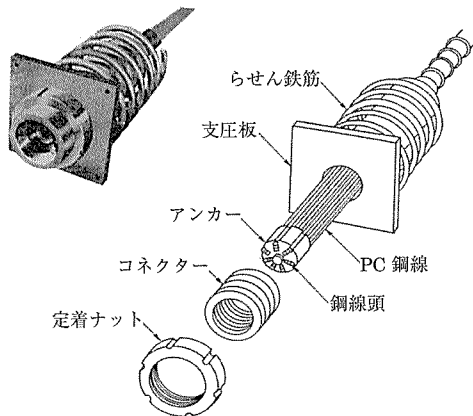


図 - 12 OSPA 工法の概要<sup>9)</sup>

### 3.4 その他の複合定着工法

多数本の PC 鋼材の端部を金属製のソケットに挿入し、冷間注入もしくは熔融金属を鑄込む方法によって固定したものを定着体として形成し、これにネジ切りしたナット定着もしくはシムプレートにて定着する複合定着工法が開発、技術導入された。

各社はマルチストランドシステムを発展させて、外ケーブル工法や斜張ケーブルを開発したが、斜張ケーブルの技術を外ケーブルや一般の PC 定着工法に応用する例もあった。

#### (1) 安部ストランド工法

安部ストランド工法は、(株) 安部工業所 (現 (株) 安部日鋼工業) が 1955 年に開発した独自の国産工法で、亜鉛合金鑄込みで定着体を製作する PC 定着工法である。PC 鋼材には多層より PC 鋼より線を使用する。緊張前に PC 鋼材端部をほぐしてソケットに差し込み、そこに溶融した亜鉛合金を鑄込んで定着する。定着体であるソケットは外周のナットを締め込んでアンカープレートに固定する。

#### (2) HiAm アンカー工法

1975 年に導入された HiAm アンカーは、ドイツのレオンハルト博士、アンドレ博士らによって発明され、スイス BBR 社が実用化した吊構造ケーブル用の高疲労強度定着体である。引張鋼材には、7 mm の亜鉛メッキ鋼線 19 ~ 499 本を束ねて防錆加工を施した大容量の工場製作ケーブルを使用する。定着体として、エポキシ樹脂と小径の鋼球および亜鉛粉末を充てんした疲労強度の高い HiAm アンカー定着体を製作する。ケーブルの定着は支圧板を基本とし、座金、シムにて長さ調整を行うもので、同種の斜張ケーブルのシステムとして、NEW-PWS 工法 (新日本製鐵 (株)) がある。

PC 鋼線の端部にボタンヘッド加工を行い HiAm アンカーよりも小さめの定着体に固定したものに、斜張ケーブル用の DINA アンカー (スイス、BBR 社) がある。この DINA アンカーは HiAm アンカーと同様の多数本の PC 鋼線を定着できる大容量のシステムである。また、これと同様のシステムで PC 鋼材の防錆処理、定着部の防錆機能を高めた外ケーブル用のケーブルとして ED ケーブル (神鋼鋼線工業 (株)) が開発されている。

### 3.5 その他のプレストレス導入工法

その他のプレストレス導入工法として、1960 年前後の PC 技術の黎明期に開発もしくは技術導入された初期の特徴的な工法を概説する。

#### (1) バウル・レオンハルト工法

1959 年に、ドイツのバウル・レオンハルト設計事務所から技術導入されたバウル・レオンハルト工法は、一般の PC 定着工法とは大きく異なり、通常の定着具は配置しない。この工法では必要な本数の PC 鋼より線を主桁にループ状に巻きつけ、主桁の両端部に配置したコンクリートブロックに付着力で定着するものである。プレストレスは両端部の定着ブロックを押し広げることによって中央部にプレストレスを一気に導入する集中配置されたポストテンション方式である。緊張材には PC 鋼より線  $\phi$  9.3 mm もしくは  $\phi$  12.4 mm を使用し、プレストレスは端部ブロックと桁本体の間を油圧ジャッキで押し広げることによって必要なプレストレスを導入することができる。1960 年、岡山県の国鉄吉井川鉄道橋がわが国最初の施工となった。

#### (2) プレロード工法

1960 年に、米国 Preload 社から技術導入されたプレロー

ド工法は、円筒形のコンクリートタンクにプレストレスを導入するシステムである。円周方向のプレストレスは、PC鋼線をダイスに通して一定の張力を管理しながら、コンクリート壁の外側に巻き付けることによって導入する。必要な量のPC鋼線の巻付けが終了したのちに、ショットクリートをセメントガンで吹き付けて防錆処理を行う。

1961年に大阪府の小野田セメント塚サービスステーションのセメントサイロに採用された。

#### 4. 各種 PC 定着工法の発展

##### 4.1 急速な発展と変化

1960年前後の欧米各種PC定着工法の相次ぐ技術導入と、国内の新しい定着工法の開発が行われるなかで、1970年代に入ると列島改造の波にのって、旺盛な公共投資は新幹線、高速道路網の整備の特需を産み出しPC分野の急激な需要拡大を創出した。年間の工事量を示す統計のうえでも、初期の1960年から1980年までの20年間とその後の20年間では工事の量とその増加率の違いは明確である。

とくにポストテンション分野における工事量の急速な拡大がPC分野へのニーズを明確に物語っている。ポストテンション分野の大幅な工事量の増加は、1980年をベースとしてピークの2000年までの20年間の平均年間増加率は20%に達した。

なお、プレテンション分野でも同時期の平均増加率は10%程度であった(図-13)。

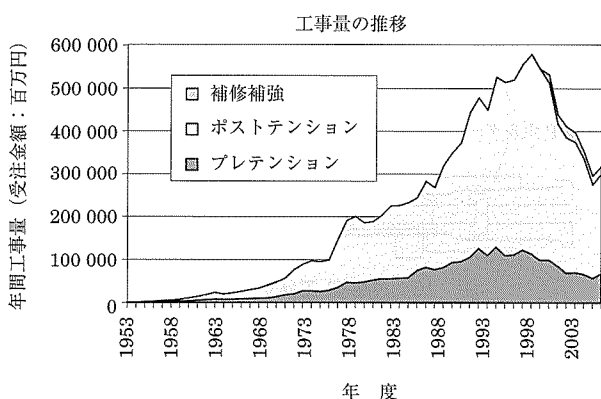


図-13 PC 工事量の推移 (1953 ~ 2007 年)

ポストテンション分野の1970年代以降の急速な拡大は、工事規模の拡大、長大支間橋梁など構造物の大型化、大断面化への需要を生み出し、適用されるPC定着工法にも大きな変化をもたらした。このことは、1960年代以降に使用されたPC鋼材の種類と量の推移から見る事ができる。

(社)プレレストレストコンクリート建設業協会では、毎年発行する年報誌上で、工事の受注量に加え、「主要原材料使用実績」として各種PC鋼材の年間使用実績データを集約している<sup>12)</sup>。本文では、これらのデータをPC技術初期の1952年から2007年度まで、55年間のPC鋼材量の使用実績を分類して整理した(図-14)。

急速な成長と多様な発展を遂げたPC技術に関して、PC

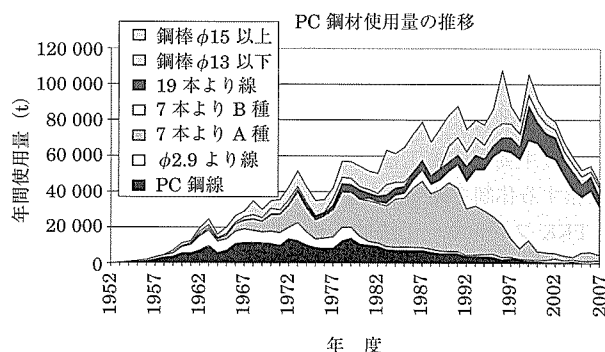


図-14 PC 鋼材使用量の推移 (1952 ~ 2007 年)

鋼材の実績データは必ずしも統計的な精度は高くないが、年間使用量の傾向は明らかにこの間のPC技術の発展の歴史を物語っている。その傾向を明示している1961年、1981年、2006年のPC鋼材種別使用量を表-1に示した。

表-1 PC 鋼材種別使用量の比率 (%)

鋼材種類	1961年	1981年	2006年
PC 鋼棒 (φ 15 mm 以上)	10	20	6
PC 鋼棒 (φ 13 mm 以下)	0	4	6
PC 鋼 19 本より線	0	5	14
PC 鋼 7 本より線 (B 種)	0	3	63
PC 鋼 7 本より線 (A 種)	6	44	9
φ 2.9 mm より線	38	4	2
PC 鋼線	46	20	0
合計	100	100	100
使用量合計 (t)	12 452	51 614	54 574

これらのPC鋼材の実績データを比較すると、PC定着工法の発展として以下の変化を確認することができる。

- ① 1960年代から1970年代までは、細径のφ2.9mmより線がプレテンション製品に、ポストテンションにはPC鋼線を使用するマルチワイヤシステムが多く用いられてきた。
- ② 1960年代後半からPC鋼より線を使用するマルチストランドシステムが登場し、70年代に入ると急増する。
- ③ PC鋼線は漸減して、使用量が大幅に減少した。主方向ケーブルにはPC鋼より線を、横締めにはシングルストランドを使用する傾向が多くなり、φ5~7mmのマルチワイヤシステムの使用量が減少した。
- ④ 1990年代には、ポストテンション工事および工場製品、ともにPC鋼材の高強度化が進展し、7本よりのPC鋼より線の材質は、15年ほどでA種からB種に入れ替わった。
- ⑤ 太径PC鋼棒は、1980年代に増加したが1990年後半以降は漸減。支間の大きい張出し架設の主方向鋼材や、横締め鋼材もPC鋼より線に移行した。
- ⑥ シングルストランド工法が普及し、19本より線は着実に増加してきた。

##### 4.2 PC 定着工法の大型化

1970年代半ば以降からの急速な業量拡大と構造物の大型

化に対して、プレストレスの導入システムの大型化と生産性の向上が求められた。結果的には各定着工法とも VSL 工法などに代表される多数本の PC 鋼より線を一括して緊張するマルチストランドシステムの供給が求められ、1980 年代には主要な定着工法として各社が同様の定着システムを供給する体制を確立した。

FKK フレシネー工法はモノグループシステム (1978 年)、ディビダーク工法はディビダークストランドシステム (1982 年)、SEEE 工法は PAC システム (1984 年)、BBR 工法はコナ・マルチシステム (1986 年)、アンダーソン工法はモノグループウェッジシステム (1994 年) を、各工法で呼称こそ異なるが、多数本のストランドを対象とした大容量の定着システムが供給されている。

一方、緊張力の増大化はコンクリートへの定着負担も増大させ、定着部のひび割れ発生リスクも高まることから、定着部のコンパクト化と合わせて、キャストイングタイプの多段リブ方式の定着具 (図 - 15) の採用も増加している。

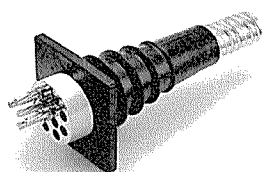


図 - 15 カスティングリブ付き定着具の 1 例<sup>10)</sup>

### 4.3 耐久性の向上と新しい PC 定着工法

1985 年に英国で起きた落橋事故を契機にポストテンション方式の PC グラウトが見直された。ポストテンション方式の PC グラウト不良による鋼材腐食の顕在化と破断事故の発生は、PC 構造物に対する信頼性を揺るがす出来事であった。PC グラウト不良はシステムとしての脆弱性を示し、確実なグラウト注入方法の確立とともに、防食性能を担保できる PC 定着工法が求められた。

#### (1) プレグラウト PC 鋼材

PC グラウトを注入する既存のポストテンション方式に替わるものとして注目されたのは、後硬化性のエポキシ樹脂を工場で施工したプレグラウト PC 鋼材である。プレグラウト PC 鋼材は 1980 年代に神鋼鋼線工業 (株) にて開発され、シングルストランド工法の PC 鋼材として供給されていた国産技術である。現場での PC グラウト注入を不要とするこのシステムは、シングルストランド工法と同様にコンパクトで施工性に優れ、横締め PC 鋼材を中心に広く普及している。

#### (2) 外ケーブル方式と樹脂被覆 PC 鋼材

ポストテンション方式の定着システムは、PC グラウトを不要とする外ケーブル方式の普及を加速した。外ケーブルシステムは、各社の斜張ケーブルの技術が反映したものが多く、疲労特性にも優れながらコンパクトで経済的なシステムも提供されている。定着具は、交換可能な二重ケーシング構造タイプや再緊張を可能とするタイプも用意されている。外ケーブルに適用される定着システムは、多重より

PC 鋼より線の SEEE 工法 F 型と PC 鋼線束を使用する ED アンカーケーブル以外の外ケーブルは大型化したマルチストランドシステムが基本となっている。外ケーブルシステムの PC 鋼材はさらに大型化し、大容量のマルチストランド 19 - φ 15.2 mm クラスが一般に使用されるようになった。

さらに外ケーブルに要求される防食性能が耐久性能の向上と合致し、防食に対する関心も高まり、樹脂被覆鋼材の使用や保護管としてポリエチレン管の使用、多重防食としてのグラウト注入タイプ、多重防食プレハブケーブルの採用など、マルチプロテクション構造も確立されてきた。1991 年、最初のエポキシ樹脂被覆ストランド鋼材を適用した吊床版橋、千振湖橋が施工された。

#### (3) 新しいプレテンションシステムの開発

PC 技術の起源ともいべきプレテンション方式が、その耐久性についても有効であることに異論はなく PC グラウトを不要とする新しいプレテンション方式が開発された。

1992 年には、中空 PC 鋼棒を利用するプレテンション技術の一種である NAPP 工法がオリエンタル白石 (株) と高周波熱錬 (株) によって開発された。NAPP 工法は、あらかじめ引張力を付与した中空 PC 鋼棒を緊張材として使用するものである。周囲に打設したコンクリートが硬化してから中空 PC 鋼棒の引張力を解放し、コンクリートとの付着を介してプレストレスを与えるプレテンション方式である。中空 PC 鋼棒の内側に配置される反力 PC 鋼棒が、プレテンション方式のアバットの役割を果たすもので中空 PC 鋼棒の引張力を保持する機構となっている (図 - 16)。

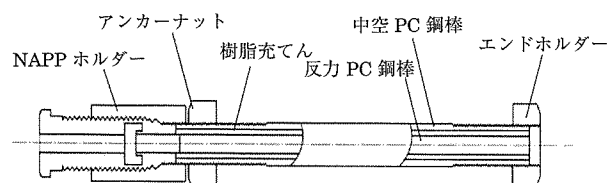


図 - 16 NAPP 工法の構造概要<sup>13)</sup>

2000 年には、大規模なプレキャストセグメント橋梁群で注目された伊勢湾岸の第二名神高速道路の長島高架橋において、プレキャストセグメントの床版横締めプレテンション工法が用いられた。セグメント製作ヤードにてプレテンションを与える専用のアバット装置を開発され、上床版横締め配置する φ 21.8 mm の 19 本より PC 鋼より線はプレテンション方式にてプレストレス導入が行われた<sup>14)</sup>。

#### (4) 新素材による連続繊維緊張材の開発

1980 年代の後半から PC 鋼材ではなく、非鉄材料の新素材を緊張材として用いる定着工法の開発も盛んに行われた。新素材には炭素繊維およびアラミド繊維の連続繊維が主に使われ、PC 鋼材と異なる材料特性に配慮した各種の定着装置が考案された。各材料によって多少の差異はあるが、高強度・高耐久性・軽量・非磁性などの優れた性能を発揮できれば、構造物の耐久性という側面では、鋼材腐食と無縁の新素材の耐久性に期待するところは大きい。

1988年に最初の炭素繊維系連続繊維緊張材のCFCC工法によるプレテンション方式の新宮橋が石川県に誕生した。1990年前後には、炭素繊維のリードライン工法、アラミド繊維を使用したFIBRA工法、テクノーラ工法、アラプリ工法などによるプレテンション方式とポストテンション方式のPC橋が誕生した。

## 5. おわりに

PC定着工法の歴史をここに振り返る機会をもち、自らも生きた五十年余の期間にPC技術が驚異的な発展を遂げたことに、あらためて感動を覚えた。とくに1970年代以降の成長の速度には目を見張るものがある。その歴史の一端に参画できたことにあらためて誇りを感じずる次第である。

その一方で、PC鋼材の使用量が2000年を頂上として減少し、25年前の1980年の水準に接近している事実にも戸惑いを禁じえない。そこで、もう一度この五十年余の工事量とPC鋼材使用量の推移をじっくりと見ることにした。

工事量の増減ペースとPC鋼材の使用量の増減ペースに着目すると何か見えてきそうではないか…

図-17に示すように、PC鋼材1tあたりの工事量(C/W)の推移を4次の多項式で近似してみると…

初期の1960年の単位工事量は100万円/tあたりだが…、1980年には3倍の300万円/t、2000年には6倍の600万円/tとなっている。物価上昇分や、PC鋼材の高強度化などの要素を差し引いても鋼材価値の急増は明確である。

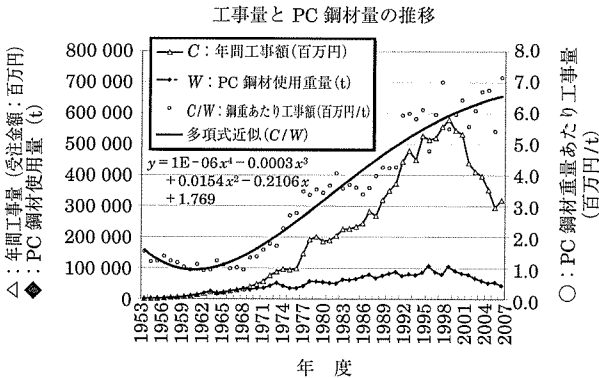


図-17 工事量とPC鋼材量の推移

先達の類なきPC定着工法の開発への情熱と弛みない改良と工夫の努力によって、PC定着工法はPC技術の発展のエンジンとして機能してきた。2000年以降の工事量の下降時期にあっても、このカーブだけは下がらず高い価値を保持しているように見える。

進歩と変化の激しい各種PC定着工法について、過去の工法の流れに着目するあまり、各社がもつ独自の技術や最新の情報については、ほとんど触れることはできなかった。また誌面の都合で記述できない工法や関連分野もあり、不十分な点はご容赦願いたい。今回の論説を纏めるにあたって、定着工法に関連する各社の皆様に貴重な資料や、アドバイスをいただいた。関係各位のご協力に心から感謝するとともに、あらためて御礼を申しあげるものである。

## 参考文献

- 1) Fressinet: Breve d'Invention NO. 926, 505, Systeme d'Ancrages de Câbles sous Tension Destinés a la Réalisation de Constructions en Béton Précontraint, 1939
- 2) Y. Guyon: Béton Précontraint, Editions Eyrolles, 1958
- 3) 鈴木素彦: PC定着工法の歴史的発展, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.6, Nov. 2000
- 4) 仁杉巖: プレストレストコンクリート事始め, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.1, Nov. 2000
- 5) 下村, 久松, 林下: 草創期におけるPC鉄道橋(光弦橋)の性状調査について, 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, 1990
- 6) 猪俣俊司: プレストレストコンクリートの設計および施工, 技報堂, 1957
- 7) プレストレストコンクリート工業協会編: プレストレストコンクリート年報, 1963
- 8) VSL協会: プレストレストコンクリートVSL工法設計・施工基準
- 9) PC技術協会: PC定着工法(2000年版), プレストレストコンクリート
- 10) SEEE協会: SEEE工法設計・施工指針
- 11) バイプレストレッシング工法協会: バイプレストレッシング工法設計施工マニュアル
- 12) 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年報 1953~2008
- 13) NAPP工法技術研究会: NAPP工法設計・施工マニュアル
- 14) 池田博之他: φ21.8ストランドを使用したプレテンション工法評価実験について, 大9回PCシンポジウム, 1999年, 10月

【2008年11月25日受付】