

PC定着工法の歴史的発展

鈴木 素彦*

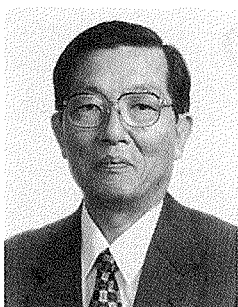
1. はじめに

ユージェヌ・フレシネーは友人ジャン・シーユと連名で、昭和3年(1928)10月2日、それまで20年にもわたって研究を進めてきたPC技術の総まとめとして、いわゆるPCに関する基本特許『補強「コンクリート」製品ノ製造方法』をフランス国に出願し、当時無審査であったため早くも同年11月19日付で、特許第680,574号として認められた。それから遅れること1年、昭和4年(1929)10月1日、両名は同特許を日本国にも出願し、昭和7年(1932)3月14日、日本国特許第96254号が広告になった。実に今から68年前のことである。その明細書の冒頭に

『本發明ハ極メテ高キ弾性限ヲ有スル補強材ヲ使用シテ例ヘハ水圧打重器ノ如キ強力ナル装置ニ依リテ該補強材ニ予メ其ノ弾性限付近ノ極メテ高キ張力ヲ受ケシメ且「コンクリート」カ固マリ且硬化セル後上記補強材ノ張力ヲ該「コンクリート」ニ伝ヘシムヘクシ該張力ヲ受ケタル補強材カ「コンクリート」ニ関シテ摺動スルヲ防止スル碇止装置(ルビは著者)ヲ設ケテ該「コンクリート」ニ永久的ノ高キ圧縮力ヲ受ケシムルカ如クスルヲ特徴トスル補強「コンクリート」製品ノ製造法ニ係リ其ノ目的トスル所ハ任意ノ形ヲ有スル補強(鉄筋)「コンクリート」製品特ニ柱、枕木等ノ太サ或ハ厚サ或ハ厚サト其ノ員数ヲ減シテ製造費ヲ低廉ナラシムルト同時ニ之ヲ輕クシ然カモ在来ノモノ以上ノ強大ナル抵抗力ヲ具ヘシメントスルニ在リ』¹⁾

とあり、文中に「碇止装置」なる用語が出てくる。明細書の付図を見ると、プレテンション方式によるPC部材の製造方法が例示されている。図-1は現在広く用いられているPC鋼材の反力をアバットにとる方法、図-2は反力を型枠にとる方法である。形状は定かではないが、図中の7, 8, 9, 10がPC鋼材に取り付けられた「碇止装置」である。プレテンション方式ではあるが、これが定着具の前身あるいは一種の定着具ではなかろうか。

以下この時点をPC実用化の原点として、次の4段階に分けて、PC定着工法の発展をわが国を中心にして追ってみる。



* Motohiko SUZUKI

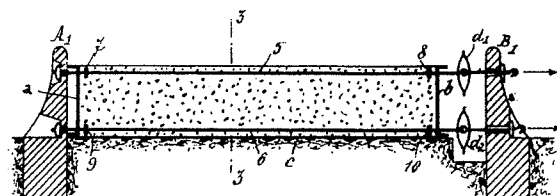
オリエンタル建設(株)
常務取締役

図-1 フレシネーPC基本特許におけるプレストレス導入方法 その1

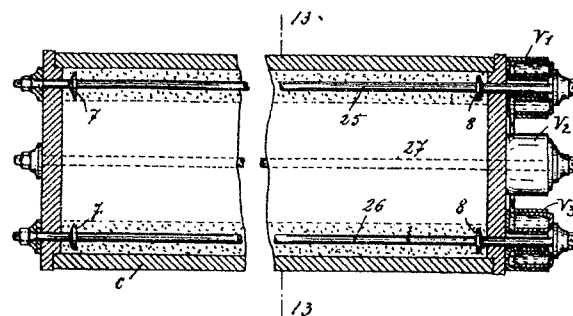


図-2 フレシネーPC基本特許におけるプレストレス導入方法 その2

第1段階(1928～1939)：基本特許出願の日から第二次世界大戦勃発まで

第2段階(1939～1945)：第二次世界大戦勃発から終戦まで

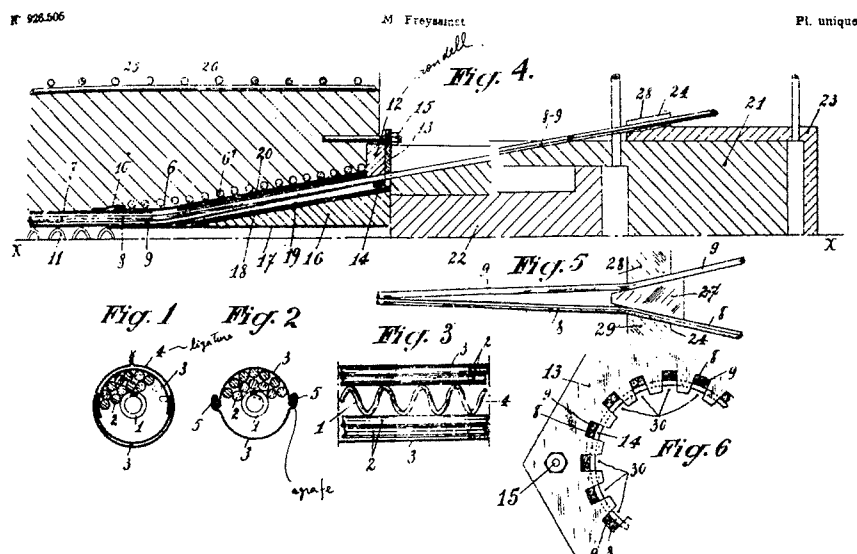
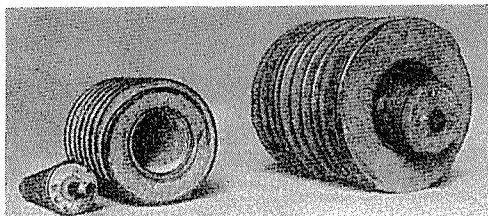
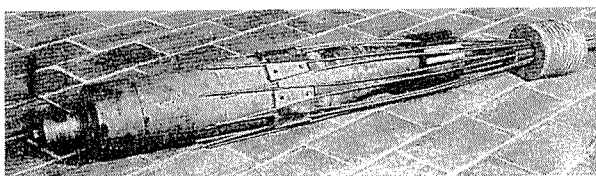
第3段階(1945～1956)：終戦から基本特許消滅の日まで

第4段階(1956～2000)：基本特許消滅の日から現在まで
なお、PC定着工法、定着具等の定義については、参考文献¹³⁾を参照していただきたい。

2. 第1段階

この段階は、プレテンション方式が具体化した時期である。フレシネーは昭和4年(1929)から昭和7年(1932)にかけてフランスのモンタルギス工場で中空断面のPC電柱を生産した。さらに、昭和8年(1933)にドイツのフランクフルトで直径5mmの高張力鋼材を使用した実験桁を製作し、これをもとにして、昭和11年(1936)、アルジェリアのポルト・ド・フェールダムゲート上に、スパン19m、幅員4.6mの世界初のPC橋をプレテンション方式により施工した¹⁷⁾。なお、これらの製造・施工にあたって、碇止装置が使用されたか否かは定かではない。

一方ポストテンション方式についても、この時期にフレシネーは独創的なアイデアを考案し、特許を出願した。Système d'Ancrages de Câbles sous Tension Destinés à la Réalisation de Construction en Béton Précontraint(PC構造物施工における張力を受けたケーブルの定着システム)なる表題で、昭和14年(1939)8月26日に出願し、昭和22年(1947)10月3日に広告になっている²⁾。図-3がその特許の付図で、

図-3 フレシネーのPC定着システムおよびジャッキの構想²⁾図-4 1950年前後のフレシネー工法の定着具およびジャッキ⁶⁾

上左半分が雌・雄コーンからなる定着具断面、上右半分がジャッキ断面をそれぞれ示している。2本ずつ対になったPC鋼線が雌・雄コーンの間を斜めに通り、ジャッキの外側に出てくさびで固定されている。図-4は1950年代前半のフレシネー定着工法の定着具およびジャッキである。両者を比較してみると、雌コーン・雄コーン間のくさび作用を利用した定着具の発想および主ジャッキの中に従ジャッキを内蔵した緊張ジャッキの構想はまったく同一で、フレシネーの考案がほぼそのまま具体化されたことが明瞭に理解できる。ただし、雌コーンが場所打ちの鉄筋コンクリート製からプレキャスト鉄筋モルタル製に変わっていること、1シース内のPC鋼線数が図-3の構想段階に比較して、図-4ではかなり減少していることなどが異なっている。

この時期、前述したように、フレシネーはわが国にも特許を申請し、PCの基本特許を取得した。当時それに気づいていた人はほとんどいなかったと思われる。ましてやその有用性を見通した人は皆無であろう。第2段階に入る直前の昭和14年(1939)になって、やっと当時福井高等工業学校教授の吉田彦彦氏が初めてその当時ドイツで注目されていたコンク

リート技術について、建築雑誌昭和14年(1939)9月号に「鋼絛コンクリート(Stahlsaitenbeton)に就いて」³⁾と題して、直径1mm~2mmの細径高張力鋼を用い、碇止装置(ホイヤーの特許では緊止体という用語を使用)は用いずにプレテンション部材を製造するE.ホイヤーの技術⁴⁾を紹介された。

3. 第2段階

この時期は、日欧とも第二次世界大戦に巻き込まれた時代である。物資が次第に不足してきて、思うように開発研究を進められなかった反面、鋼材をほとんど使わなくてすむPCの評価が高まりポストテンション方式が具体化した時代であった。

フレシネーは昭和14年(1939)に依頼したポストテンション方式のフレシネー定着工法を具体化し、ルザンシー橋に適用した。施工は昭和16年(1941)に開始され、途中ドイツ軍の命令で中断したが、昭和20年(1945)に完成した。ケーブルとしてはプレキャスト鉄筋モルタル製の雌・雄コーンおよび直径5mmのPC鋼線10本を使用する10W5が使用されたと思われる¹⁷⁾。なお、初期のフレシネー定着具の仕様として、5mm PC鋼線用の8W5、10W5、12W5、18W5、および7mm PC鋼線用の12W7があった^{7), 8)}。一方フレシネー工法の普及発展を図るために、昭和18年(1943)に、振興会社STUP (Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte)が設立された。

この時期わが国では、国鉄の鉄道技術研究所において、プレテンション方式の研究が開始された。昭和19年(1944)8月25日の鉄道研究所鉄道業務資料⁵⁾や仁杉 巖氏の「PC事始め」¹⁵⁾によれば、昭和16年(1941)2月に鋼絛コンクリート研究委員会が組織されたこと、昭和18年(1943)末までは準備段階であったこと、翌昭和19年(1944)2月から桁の試作と載荷実験が行われたことが記されている。

4. 第3段階

欧米では第二次世界大戦終了直後に欧米でのフレシネー

のPC基本特許が切れて以来、各種ポストテンション工法が競って開発された時代であった。終戦直後は鋼材が不足していたので、PCは時代にマッチした工法であった。フレシネー工法の後を追って、フランスのGTM・クーボン工法、ベルギーのマニユエル工法、スイスのBBRV工法、VSL工法、ドイツのディビダーク工法、バウル・レオンハルト工法、レオバ工法、グリーン・ビルフィンガー工法、フィリップ・ホルツマン工法、ボレンスキー・ツェルナー工法、イタリアのモランディー工法、イギリスのリー・マッコール工法、アメリカのストレススチール工法、プレロード工法、その他合わせて30以上のポストテンション定着工法が開発された⁸⁾。

各工法の概要については、わが国に技術導入された工法を中心に、第4段階の項で述べる。

わが国の大正10年法特許システムにおいては、特許の存続期間は、出願広告日より15年であった。これによれば、フレシネーの基本特許は昭和22年(1947)3月14日で失効するはずであった。しかし、わが国は第二次世界大戦で敗戦国となったために、連合国人工業所有権戦後処置令により、フレシネーの特許は昭和31年(1956)5月19日まで約9年間延長になった。この間に、昭和27年(1952)7月極東鋼弦コンクリート振興(株)が設立され、STUP社からフレシネー工法の技術導入を行い、極東地区の総代理店になった。その結果、日本においては、極東鋼弦コンクリート振興(株)の再実施権者にならない限り、PC工事を施工することはできなくなった。そのため、その年に設立されたピー・エス・コンクリート(株)(現 株)ピー・エス)、オリエンタルコンクリート(株)(現 オリエンタル建設(株))、敦賀ピー・エス・コンクリート(株)(現 日本ピー・エス・コンクリート(株))などがフレシネー工法の再実施権者になり、PCの施工を開始した¹¹⁾。一方では、恐らくフレシネーの基本特許有効期間延長に気づかずに、わが国初のPCの施工が行われていた。プレテンション方式では、昭和26年(1951)わが国初のPC枕木が製造され、東海道本線大森～蒲田間に36本の枕木が試験的に敷設された。プレテンション方式では定着具を使わないが、アバットにPC鋼線を緊張固定する方法として、図-5に示すように二つ割くさびを使う方法や非対称くさびを使う方法等が考案されていた。橋梁分野では、同じく昭和26年(1951)わが国初のプレテンション方式道路橋石川県七尾市の長生橋が発注され、翌年の昭和27年(1952)に竣工した。ポストテンション方式では、ベルギーのマニユエル工法が導入され、昭和26年(1951)に東京駅6、7番ホーム桁や昭和28年(1953)東京都のオリエンタルコンクリート(株)(現 オリエンタル建設(株))工場内の国鉄引込み線鉄道橋光弦橋等が施工されている。マニユエル工法は第二次世界大戦直後で、ベルギーがフランスからフレシネー工法を技術導入できなかったため、ベルギーのゲント大学教授のグスタフ・マニユエルが考案したものである。図-6に示すように、厚さ25mm、幅115mmの厚肉鋼板の上下面に4ヶ所くさび状の溝が刻まれ、各溝に2本ずつの5mm PC鋼線が羽子板状のくさびで定着される構造である。標準タイプはこれを上下に4枚ずつPC鋼線32本で1ケーブルを構成する。光弦

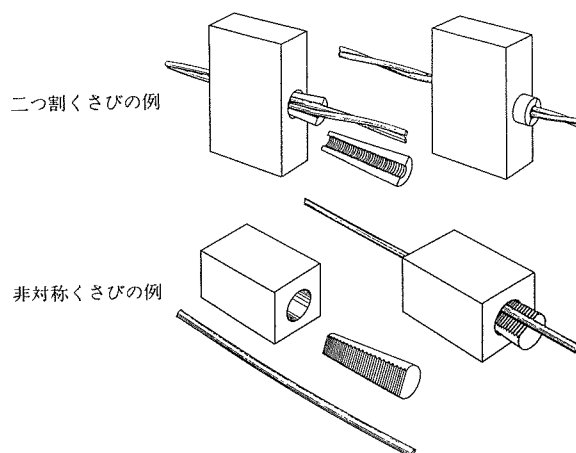


図-5 プレテンション工法におけるPC鋼材のアバットへの固定方法⁹⁾

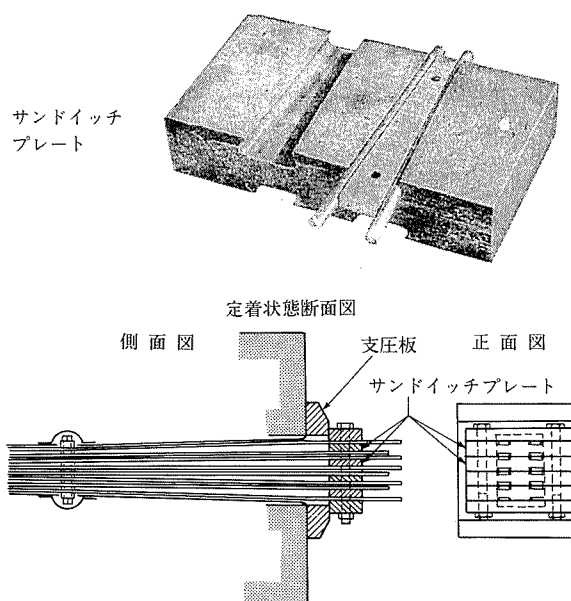


図-6 マニユエル工法の定着方法と上下面にテーパ溝を切ったサンドイッチプレート⁶⁾

橋では、桁1本につき水平に5枚並べた構造で、合計40本の5mm PC鋼線が10本のシースに分けて配置されていた¹²⁾。

5. 第4段階

5.1 欧米PC定着工法の技術導入¹⁰⁾

フレシネーの基本特許の日本における有効期限が切れるや否や、欧米で開発されていた多くの定着工法のうち、特徴のある主要な工法がわが国に次々と技術導入された。導入順に概要を述べる。

(1) フレシネー工法

先陣を切って、昭和27年(1952)フレシネー定着工法マルチワイヤーシステムが極東鋼弦コンクリート振興(株)により、フランスSTUP社から技術導入された。フレシネー定着具は、図-7に示すように、プレキャスト鉄筋モルタル製の雌コーン、雄コーンからなり、くさび作用を利用して、定着する機構になっている。その際、専用の水圧ジャッキを

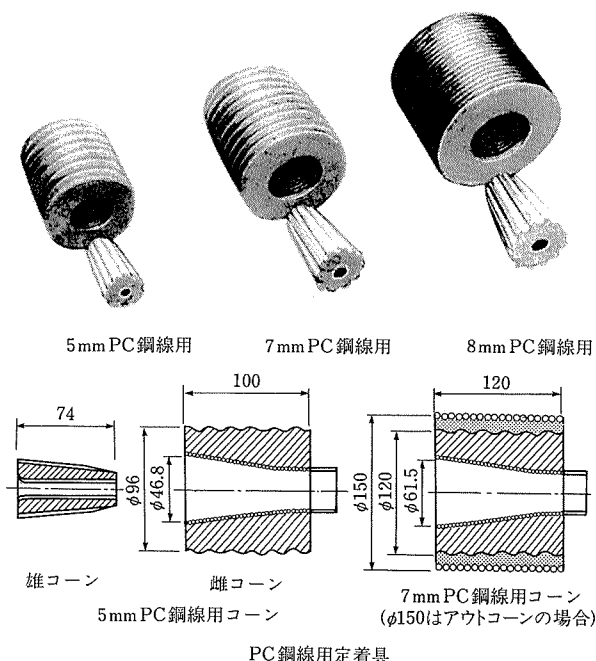


図-7 現在のFKKフレッシュナールマルチワイヤースystem¹⁶⁾

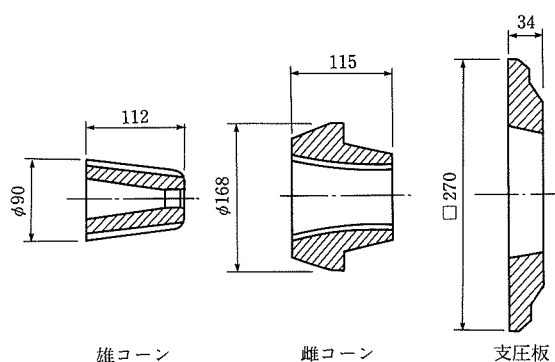
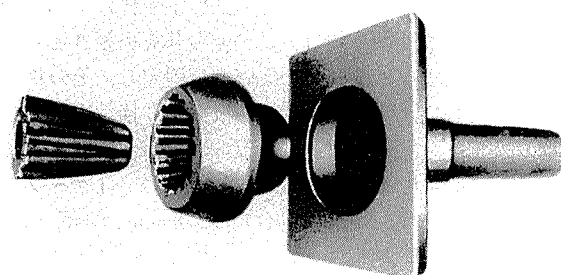


図-8 現在のFKKフレッシュナールマルチストランドシステム¹⁶⁾

使用する。ジャッキはPC鋼材を引っ張る主ジャッキと最終段階で、雄コーンを押し込むための従ジャッキからなり、主ジャッキが従ジャッキを内蔵する構造になっている。使用鋼材は、5mm、7mm、8mm PC 鋼線で、1 ケーブルあたり12本である。緊張力にすると、7mm ケーブルの場合約75tになる。

この定着システムの特徴は、

- ① 定着具が鉄筋モルタル製であるため、鋼材使用量が少なく時代にマッチしていた

定着具を組み立てた状態

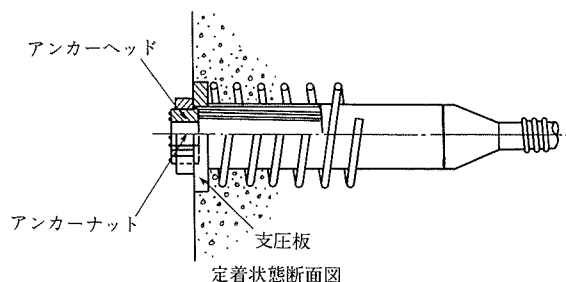
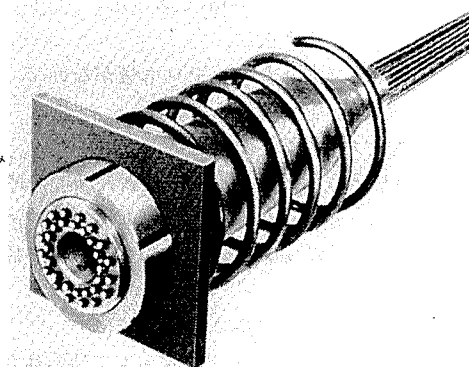


図-9 BBR Vシステム¹³⁾

- ② 緊張時も定着時も、くさび作用を利用して定着するため、PC鋼材に事前の加工が不要である

- ③ そのためPC鋼材の切断長精度の監理が容易である

- ④ 5mm前後のセット量がある

などである。昭和28年(1953)、福井県の十郷橋にわが国で初めて採用された。

昭和36年(1961)には、さらにマルチストランドシステムがSTUP社から技術導入された。この定着具は、図-8に示すように、鋼製の雌コーン、雄コーンからなり、前述の定着具と同様くさび作用を利用して、定着する機構になっている。マルチワイヤースystemの雌コーンはくさび受け具と支圧具の機能を併せもっているが、マルチストランドシステムでは雌コーンがくさび受け具の機能を、支圧板が支圧具の機能をそれぞれ分担してもつようになった。使用鋼材は、12.4mmのPC鋼より線で、1 ケーブルあたり12本である。緊張力は195tになる。これにより、7mm PC 鋼線ケーブルと比較すると、緊張力は約2.5倍になった。昭和36年(1961)、栃木県の国鉄鬼怒川鉄道橋に初めて採用された。現在は15.2mm PC 鋼より線も開発されている(図-8)。

(2) BBRV工法

フレッシュナール工法の基本特許が切れた翌年の昭和32年(1957)に、BBRV工法が白石基礎工事(株)(現 株式会社白石)により、スイスBBR社から技術導入された。この定着システムは、図-9に示すように、一般に内外面にねじを有する肉厚円筒形アンカーヘッドにあけた複数の孔にPC鋼線を通し、その先端に専用の製頭機を用いてボタンヘッドを冷間加工し、アンカーヘッド面に支持させ、アンカーナットで定着する機構になっている。ジャッキは中心部にテンションロッドが通るように孔をあけたセンターホールジャッキである。使用鋼材は、5mm、7mm PC 鋼線で、導入当時は、

1 ケーブルあたり7本～60本であった。

このシステムの特徴は、

- ① ねじ式であるため、セット量がない
- ② 再緊張が容易である
- ③ カップリングが容易である
- ④ ねじ式のため、PC鋼材の切断長精度監理に留意する
- ⑤ ケーブル内のPC鋼材本数の調整が容易である

などである。昭和34年（1959）、北海道の両神橋にわが国で初めて採用された。

(3) ディビダーク工法

昭和33年（1958）に、ディビダーク工法が住友電気工業(株)により、ドイツ Dyckerhoff & Widmann 社から技術導入された。このシステムでは、図-10に示すように、PC鋼棒をその端部に切った非対称転造ねじを用いて、ナットによりアンカープレートまたはアンカーグロツケに定着する。ジャッキは専用のセンターホールジャッキである。使用鋼材は26 mm、32 mmのPC鋼棒である。

このシステムの特徴は、

- ① ねじ式のため、セット量がない
- ② 再緊張が容易である
- ③ ケーブルの接続が容易である
- ④ 疲労強度が高い
- ⑤ ケーブルの曲率半径に制約がある

などである。昭和33年（1958）、神奈川県の大井町橋にわが国で初めて採用された。

(4) バウル・レオンハルト工法

昭和34年（1959）に、バウル・レオンハルト工法が大成建設(株)により、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。この工法では、PC鋼より線を橋体に所要回数だけループ状に巻き付け、いわゆる通常の定着具を用いずに、橋体端部に配置した緊張ブロック中のPC鋼材部分をシースを被せず、裸で配置しコンクリートとの付着で定着する。使用PC鋼材は9.3 mm、12.4 mmのPC鋼より線である。

この装置の特徴は、

- ① 大断面シースにPC鋼材を集中配置する
- ② ケーブル途中でPC鋼材の本数を増減することが困難

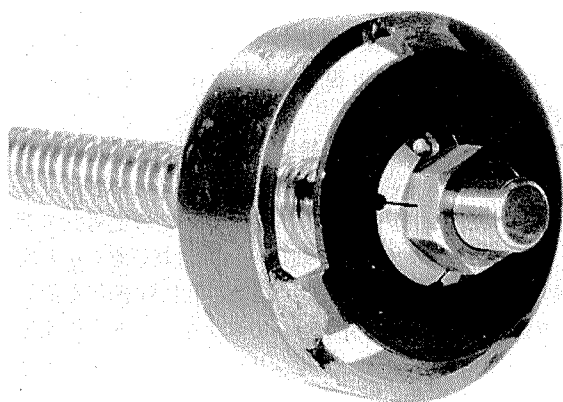


図-10 アンカーグロツケを使用したディビダーク鋼棒システム
(住友電気工業(株)提供)

などである。昭和35年（1960）、岡山県の国鉄吉井川鉄道橋にわが国で初めて採用された。

(5) プレロード工法

昭和35年（1960）に、プレロード工法が国際コンクリート(株)により、アメリカ 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、ダイスの中を通したPC鋼線を水平方向に引っ張りながら側壁の外側に連続的に巻き付け、円周方向のプレストレスを導入する。巻付け完了後に、ショットクリートを吹き付け、PC鋼線の防錆を行う。昭和36年（1961）、大阪府の小野田セメント堺サービスステーションセメントサイロに初めて採用された。

なお、日本に導入されなかったが、Preload 社は当時図-5に示すようなプレテンション方式で採用されている割くさびでアバットにPC鋼より線を固定する方法と同様な方法で、1枚の支圧板にあげた複数のテーパ孔にPC鋼より線を1本ずつ割くさびを用いて定着するポストテンション用の工法を開発していた。

(6) レオバ工法

昭和36年（1961）に、レオバ工法が大成建設(株)により、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。レオバ定着システムは、金槌状の定着体にループ状に加工したPC鋼材を引っ掛け、この定着体を引張り棒で引っ張り、一時支圧板にナットを用いて仮固定し、その状態でグラウトをして、定着する。その後引張り棒、ナットなどは取り外す。ジャッキは通常のセンターホールジャッキを用いる。使用鋼材は5 mm、8 mmのPC鋼線で、1ケーブルあたりの使用本数は、5 mmの場合12本、8 mmの場合、8本、16本である。

この定着システムの特徴は、

- ① グラウトで定着する
 - ② ループにする等、PC鋼材に事前加工が必要となる
- などである。昭和36年（1961）、東京都の首都高速道路114工区（床版横締め）に初めて採用された。

(7) SEEE工法

昭和43年（1968）に、SEEE工法が新構造技術(株)により、フランスSEEE社から技術導入された。この工法では、図-11

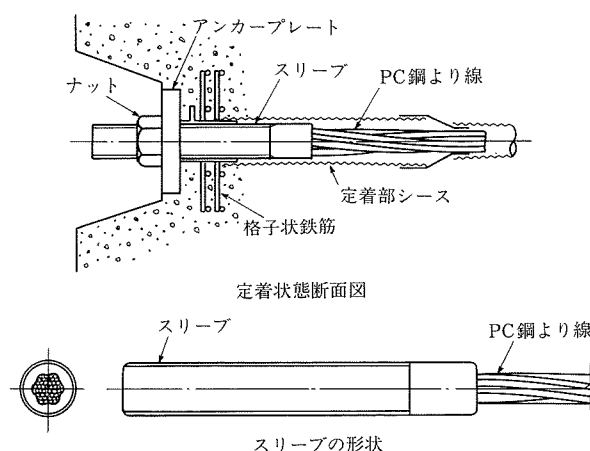


図-11 SEEE Fシステム¹³⁾

に示すように、多層PC鋼より線の端部に肉厚鋼パイプを被せて、冷間加工により一体化させ、その外側にねじ加工を行い、PC鋼棒と同じようにナットを用いて、アンカープレートに定着する。ジャッキは通常のセンターホールジャッキを用いる。使用鋼材は8.1mm～15.2mmまでのPC鋼より線で、1ケーブルあたりの使用本数は7本、19本である。

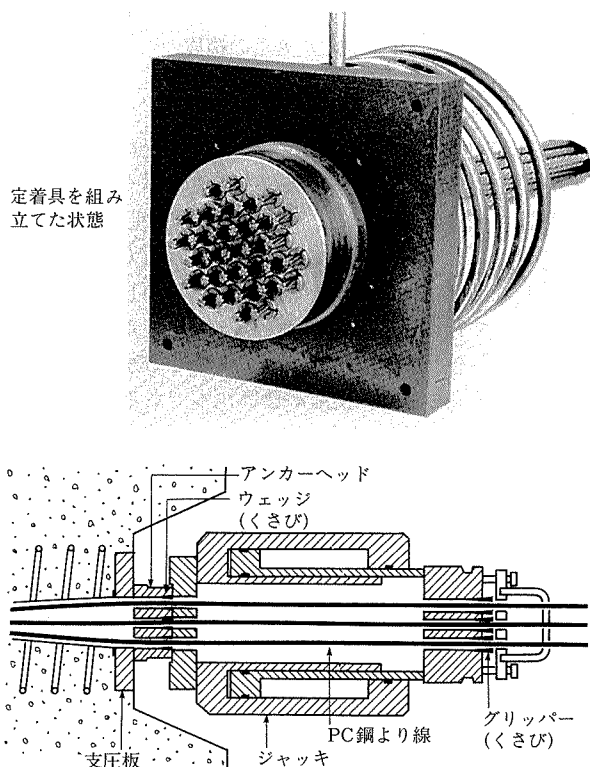
この定着システムの特徴は、

- ① ねじ式のため、セット量がない
- ② 再緊張が可能である
- ③ 接続が容易である
- ④ シースを被せた後に冷間加工の必要がある
- ⑤ 比較的大型ケーブルが可能である

などである。昭和44年(1969)、大阪の日本道路公団近畿自動車道摂津吹田間のプレスト応に初めて採用された。

(8) VSL 工法

昭和43年(1968)に、VSL工法が大成建設(株)により、スイス Losinger 社から技術導入された。このシステムでは、図-12に示すように、鋼製支圧板に重ねて配置されたアンカーヘッドの複数のテーパ孔にPC鋼より線を1本ずつ通し、鋼製の割くさびで定着する。ジャッキは通常のセンターホールジャッキを用いる。ジャッキ背後にも同数のテーパ孔を有する専用アンカーヘッドが設けられており、グリッパーと称するくさびを配置する。緊張時は、グリッパーが働き、ジャッキ先端のくさびは遊ぶ。ジャッキの圧力を開放するとグリッパーが遊び、ジャッキ先端のくさび



VSLシステム緊張作業図

図-12 VSLシステム
(株)VSL Japan提供)

が働き、PC鋼より線が定着される。使用鋼材は12.4 mm、12.7 mm PC鋼より線で、1ケーブルあたりの使用本数は1本～31本である。

この定着システムの特徴は、

- ① 1ケーブルあたりのPC鋼材本数をかなり自由に選択できる
- ② 大型ケーブルが可能である
- ③ 一括緊張する

などである。昭和43年(1968)、東京都の赤札堂ショッピングセンターに初めて採用された(以下本文では、このタイプの定着システムをポリストランドシステムと呼ぶ)。

なお、Losinger社が1940年代後半に最初に開発したシステムはポリストランドシステム系とは異なり、8 mm PC鋼線を17本または23本をテーパ付き円筒内に鋼製くさびで固定し、円筒外周のねじを利用し、緊張定着するシステムであった。

(9) CCL 工法

昭和45年(1970)に、CCL工法が(株)C.C.L. ジャパンにより、英国 CCL Systems 社より技術導入された。この工法では、鋼製支圧板にかけた複数の孔にPC鋼線を1本ずつ鋼製グリッパーで定着する。ジャッキは1本引き用のセンターホールタイプを用いる。使用鋼材は15.2 mm、17.8 mm、19.3 mm、21.8 mm PC鋼より線で、1ケーブルあたりの使用本数は1本、4本、7本、12本である。

この定着システムの特徴は、

- ① 1シース内に複数本のPC鋼より線が配置されていても、1本ずつ緊張して定着する
- ② 太径のPC鋼より線をシース内に1本配置し、シングルストランドシステムとして使用する

などである。昭和47年(1972)、大阪府の日本道路公団近畿自動車道茨木守口間第7工区に初めて採用された(以下本文では、1ケーブル内の鋼材使用本数が1本で、1支圧板に1ケーブル定着する方式をユニストランドシステムと呼ぶ。これはポリストランドシステムのPC鋼より線が1本の場合に相当するが、ユニストランドシステムでは7本よりPC鋼より線の代わりに19本よりの太径PC鋼より線を使用することが多い)。

(10) HiAm 工法

昭和50年(1975)に、HiAm工法が神鋼鋼線工業(株)により、スイスBBR社から技術導入された。このシステムでは、内側にテーパ孔を有する鋼製肉厚円筒端に規則的に孔をあけたスペーサープレートを配置し、PC鋼線を通した後にその端部に冷間加工で製頭作業を行い、鋼線が抜け出ないようにして、円筒内との空隙には直径1 mm～2 mmの鋼球、エポキシ樹脂、および亜鉛粉末を充填して、ケーブル端部にアンカー体を作る。定着はアンカー体とアンカープレートとの間にシムを挟んで行う。ジャッキはセンターホールタイプを用いる。使用鋼材は7 mm PC鋼線で、1ケーブルあたりの使用本数は37本～421本である。

この定着システムの特徴は、

- ① 疲労強度が高い
- ② 大型のケーブルが可能

などである。昭和54年(1979)、岩手県の川原橋に初めて採用された。

(11) アンダーソン工法

昭和51年(1976)に、アンダーソン工法がピーシー橋梁(株)により、アメリカ Concrete Technology社から技術導入された。定着具は鋼製ソケット(雌コーンに相当)とアルミニウム合金製のプラグ(雄コーンに相当)からなり、くさび作用を利用して定着する機構になっている。ジャッキは従ジャッキを内蔵したダブルアクションジャッキで、主ジャッキで緊張後、従ジャッキでプラグを押し込み定着する。使用鋼材は9.3 mm, 10.8 mm, 12.4 mm, 9.5 mm, 11.8 mm, 12.7 mmのPC鋼より線で、1 シース内の鋼線数は基本的には12本である。

この定着システムの特徴は、

① 再緊張が可能である

② 1シース内の鋼線数を配置が対称の範囲内で減少できるなどである。昭和60年(1985)、兵庫県日の峰橋に初めて採用された。

(12) ストロングホールド工法

昭和53年(1978)に、ストロングホールド工法が建設基礎エンジニアリング(株)により、スペイン Centro de Traba Jos Tecnicos社から技術導入された。ポリストランドシステム系の定着工法である。昭和57年(1982)、神奈川県の新吉田町橋に初めて採用された。

5.2 国産PC定着工法の開発¹⁰⁾

欧米の主要なPC定着工法技術が順次技術導入される一方で、国産のPC定着工法がほぼ同時期に次々に開発された。開発順に各工法の概要を述べる。

(1) 安部ストランド工法

昭和30年(1955)に、(株)安部工業所により開発された。この定着システムは、PC鋼より線(当時は硬鋼線)をテーパ孔付き肉厚鋼円筒に通し、より線端部を解きほぐし、先端部を円筒内に引き戻した後、亜鉛を鍍込んで、定着部を構成する。円筒部外側にねじを切り、ナットを用いて、アンカープレートに定着する。同年、岐阜県白鷺橋に初めて採用された。

(2) SWA工法

昭和34年(1959)に、別子建設(株)(現 住友建設(株))により開発された。この定着具は、六つ割した円錐台形の鋼製くさびと1つのくさび受けからなる。ドイツのグリュン・ビルフィンガー工法系の定着システムである。昭和38年(1963)、佐賀県の佐賀体育館に初めて採用された。

(3) MDC工法

昭和35年(1960)に、九州鋼弦コンクリート(株)(現 (株)富士ビー・エス)により開発された。この定着具は、テーパ孔付き肉厚円筒、同じテーパのついたスパイラルコイル、雄コーンおよびナットからなる。PC鋼より線束に肉厚円筒、スパイラルコイルの順で通し、鋼線束をほぐして広げ、雄コーンに被せ、スパイラルコイルを引き出し、肉厚円筒を被せて定着体ができあがる。肉厚円筒の内側ねじを用いて緊張し、外側ねじに被せたナットを用いて定着する。使用鋼材は12.4 mm PC鋼より線で、1 ケーブルあたりの

使用本数は8本、12本である。昭和41年(1966)、福島県の摺上橋に初めて採用された。

(4) スリーストランド工法

昭和35年(1960)に、国際コンクリート(株)により開発された。この定着具は鋼製の三角錐台状の雄コーンとこれと類似形の内面を有する肉厚円筒雌コーンからなる。昭和35年(1960)、阪神電気鉄道野田高架線に初めて採用された。

(5) OBC工法

昭和40年(1965)に、オリエンタルコンクリート(株)(現 オリエンタル建設(株))により開発された。定着具は図-13に示すように、中心を円錐台状にくり貫いた鋼製厚肉円板と円錐台を放射状に縦割し、両側面にPC鋼より線を挟むための半円状断面の溝を設けた複数個の鋼製くさびからなる。定着はPC鋼より線の間に1個ずつ割り込むかたちで配置されたくさびとPC鋼より線の両者が共同して形成する複合くさび作用による。緊張作業はケーブルの余長部に専用センターホールジャッキを取り付けて行う。使用鋼材は9.3 mm PC鋼より線で、1ケーブルあたりの使用本数は9本である。ドイツのグリュン・ビルフィンガー工法系の定着システムである。昭和40年(1965)、愛知県の大曾根ボウリング場に初めて採用された。

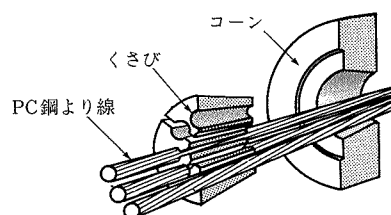


図-13 OBC定着具の構成¹³⁾

(6) フープコーン工法

昭和40年(1965)に、日本鋼弦コンクリート(株)により開発された。定着具は雌コーン、雄コーンおよびくさびからなる。緊張作業は雌コーン内に円周方向に配置したPC鋼線相互間にくさびを挿入し、この中に雄コーンをガイドのために挿入した状態で、雌コーンの外周にあらかじめ設けたねじを利用して行う。緊張作業はセンターホールジャッキを用いて行う。使用鋼材は5 mm, 7 mmおよび8 mm PC鋼線で、1 ケーブルあたりの使用本数は12本である。昭和40年(1965)、東京都の桃園川橋に初めて採用された。

(7) OSPA工法

昭和42年(1967)に、オリエンタルコンクリート(株)(現 オリエンタル建設(株))により開発された。定着具は、PC鋼線端部に冷間加工したハンマー状鋼線頭を引っ掛けるためのアンカー、定着ナット、この両者を連結するためのコネクターおよび支圧板からなる。工場で製頭したPC鋼線束をシース内に通し、鋼線頭をアンカーの溝に側面から挿入し、引っ掛けた後、コネクターを被せ、その内外に設けたねじを用い、定着ナットで支圧板に定着する。緊張作業はセンターホールタイプのジャッキを用いて行う。使用鋼材は5 mm, 7 mm PC鋼線で1 ケーブルあたりの使用本数は、12本から6本おきの最大54本である。昭和42年(1967)、栃

木県の日本道路公団深沢橋に初めて採用された。

(8) SM 工 法

昭和48年(1973)に、住友電気工業(株)により開発された。ユニストランドシステムの一つである。昭和48年(1973)、和歌山県の国道170号高架橋改良工事に初めて採用された。

(9) KTB工法

昭和48年(1973)に、黒沢建設(株)により開発された。ポリストランドシステム系の定着工法である。昭和56年(1981)、東京都の竹中工務店代々木寮新築工事に初めて採用された。

(10) バイプレ工法

昭和59年(1984)に、オリエンタルコンクリート(株)(現 オリエンタル建設(株))により開発された。1部材の中に、2つの定着システムが混在する工法で、単純桁であれば、一般に下縁に通常のポストテンション方式の1システムと上縁にPC鋼棒を押し込み定着するポストコンプレッション方式の1システムを配置する。後者により、桁には引張力と曲げモーメントが発生し、この引張力がポストテンション方式のシステムにより発生する圧縮力を打ち消すことにより桁高を低くできる。昭和59年(1984)、福岡県の川端橋側道橋に初めて採用された。

5.3 定着システムの大型化と外ケーブルの再現

(1) 大 型 化

1980年頃までに、欧米からの定着工法の技術導入は一段落した。一方、国産定着システムの開発も峠を越えた(図-14)。新幹線および高速道路等の拡充に伴って、斜張橋等に代表されるように、PC構造物の大型化が進み、それに対応できる作業性がよく、かつ経済的な大型定着システムが要求されるようになってきた。効率よく大型化するためには、ケーブルあたりの鋼材緊張力を上げることが必要である。第1に、PC鋼材の強度を上げる必要がある。そのため、単位面積あたりの強度が高く、しなやかで取扱いやすいPC鋼より線がPC鋼線に代わって多用されるようになった。第2に、ケーブルあたりの収容本数を増やさねばならない。これまでに開発された定着システムはPC鋼材本数を自由に選べるものは少なかった。唯一、ポリストランドシステムのみがこれに応えられるシステムであった。そこで、ポリストランドシステムでスタートした工法を除き、各社はポリストランドシステムを独自開発または追加技術導入し、大型化に対応した。フレシネー工法は昭和53年(1978)にモノグループシステムを、BBR工法は昭和61年(1986)にコナ・マルチシステムを、ディビダーク工法は昭和55年(1980)にストランドシステムを、SEEE工法は昭和59年(1984)にPACシステムを、アンダーソン工法は平成6年(1994)にマルチチャックシステムをそれぞれの特徴をもたせ、固有のシステムに加えて行った。これにより各工法とも1ケーブルあたり1000tから1500tの緊張力を有する大型システムをもつに至った。したがって、各工法の特徴は次第に薄れつつあるのが現状である。

一方、国産工法(誌面の関係で、図-14に表示できなかった工法もある)は施工会社が開発したものが多く、自社使用に限定されたり、大型化の対応に積極的でないため、使用

実績が伸び悩んでいる。その中で、鋼線メーカーが開発した工法や独自の工法協会を組織し、多くのユーザーを抱えた工法は伸びている。

なお、各工法の使用実績については、参考文献¹⁸⁾などを参照されたい。

(2) 外ケーブル

新潟・山形県の海岸線に沿って建設されて、15年から20年経過したPC橋に塩害によるPC鋼材の腐食が1980年頃から顕在化し、外ケーブルの有用性が維持管理が容易でかつ取替えも可能という観点から見直されはじめた。一方、斜張橋の開発が支間増大のため急速に進められ、外ケーブルの開発が急がれた。また比較的最近では、コンクリート橋の補修・補強に外ケーブルは必須の材料となっている。さらにグラウト問題とも関連して、外ケーブルが改めて見直されている。外ケーブルは、一般にポリストランドシステム系の定着具を使用し、疲労特性を改善し、防錆に配慮した構造になっている。

5.4 使用PC鋼材の変遷と特殊定着工法の出現

(1) 使用PC鋼材の変遷¹⁸⁾

PC鋼材の種類と定着工法とは密接な関係がある。(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会の統計資料からPC鋼材の変遷を見てみる。主要PC鋼材にはPC鋼線、PC鋼より線およびPC鋼棒の3種類がある。外国工法の導入および国産工法の開発がそれぞれ全体の半分程度終了した1970年代の半ば頃では、鋼線が70%、より線が10%、鋼棒が20%、導入・開発がほぼ終了した昭和55年(1980)頃には、鋼線25%、より線50%、鋼棒25%、そして平成2年(1990)頃には、鋼線10%、より線60%、鋼棒30%になり、最近の平成10年(1998)度の実績では、PC鋼材総使用量約8万tのうち鋼線2%、より線80%、鋼棒18%になっている。このように、定着システムの多様化、大型化に伴って、PC鋼材の主流がPC鋼線からPC鋼より線に移行した。しかもより線の中でも、細径から太径へと、さらにはA種からB種へと移行した。PC鋼棒は平成2年(1990)頃を頂点に、それ以後漸減している。

(2) 新素材の利用¹⁴⁾

1980年代の後半から、新素材を緊張材とし利用する定着工法の開発が相次いだ。新素材としては、連続炭素繊維および連続アラミド繊維が用いられている。炭素繊維を利用するCFCC工法が昭和63年(1988)に、ピー・エス・コンクリート(株)(現(株)ピー・エス)および東京製鋼(株)により共同開発された。CFCC工法はPC鋼材の代わりに、炭素繊維と熱硬化性樹脂を複合化し、ロープ状によって成形した構造用補強材を緊張材として使用する工法である。

この緊張材の主な特徴は、

- ① PC鋼より線とほぼ同程度の引張強度を有する
- ② 非常に軽量である
- ③ 耐食性が高い
- ④ 非磁性である
- ⑤ 破断時伸びが小さい

などである。昭和63年(1988)、石川県の新宮橋が炭素繊維より線12.5mmを用いて、プレテンション方式により初めて

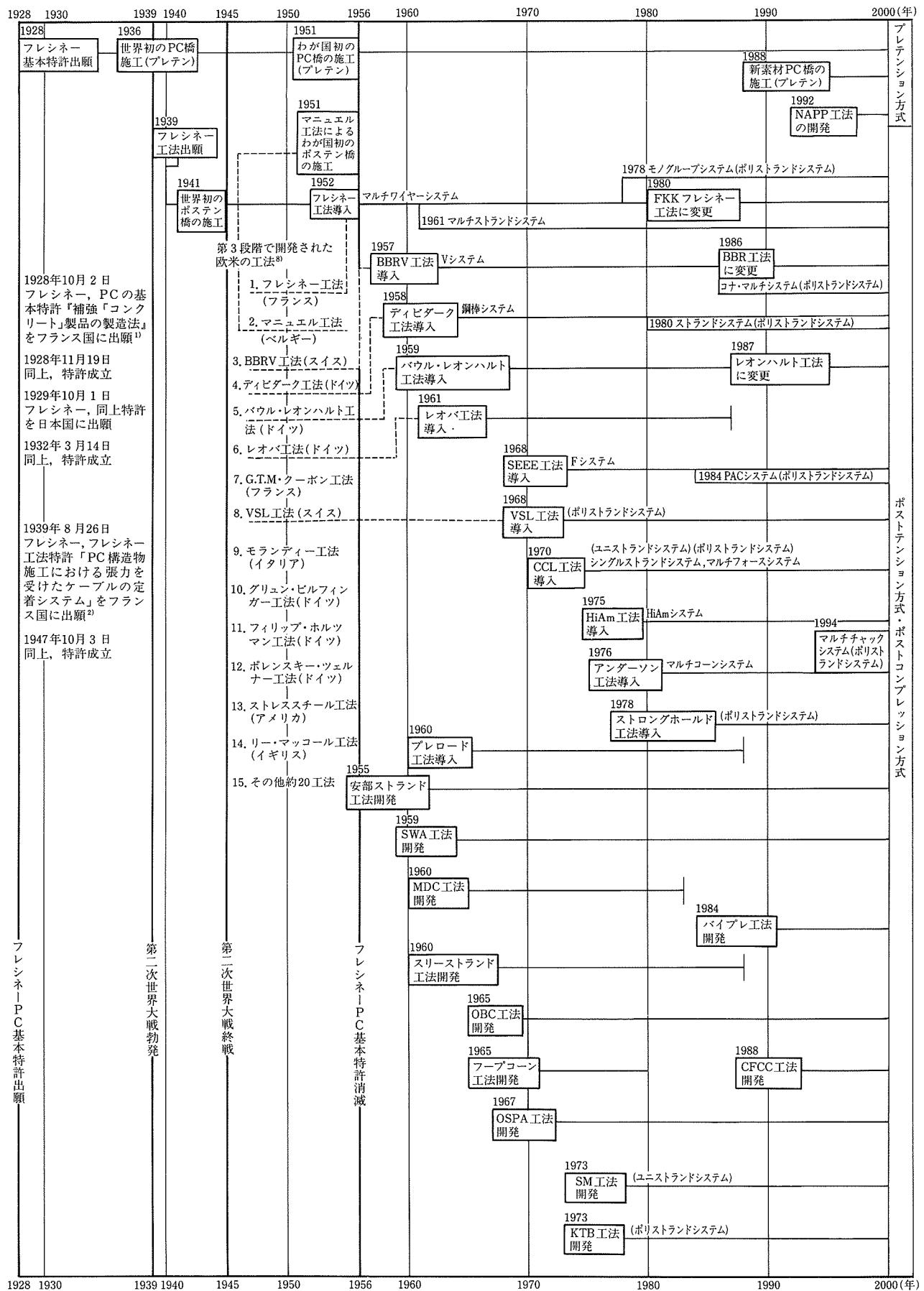


図 - 14 PC定着工法の変遷¹³⁾

施工された。

炭素繊維を使用した工法としては、CFCC工法のほかに、リードライン工法（昭和64年（1989）撥川南橋（ポステン）施工）などがある。一方、アラミド繊維を使用した工法としては、FiBRA工法（平成2年（1990）栃木県タルバス橋（プレテン）施工）、テクノロジー工法（平成2年（1990）栃木県アラミドPC橋（ポステン、プレテン）施工）、アラブリ工法（平成2年（1990）茨城県バーディ橋（ポステン）施工）などがある。

（3）中空PC鋼棒の利用

中空PC鋼棒を利用する工法として、NAPP工法が平成4年（1992）に、オリエンタル建設(株)および高周波熱錬(株)により共同開発された。NAPP工法はプレテンション工法の一つで、NAPPユニットと呼ばれるあらかじめ工場内で緊張された状態の中空PC鋼棒を型枠内の所定位置に配置し、コンクリートの硬化後に緊張力を開放し、コンクリート部材にプレストレスを導入する工法である。NAPPユニットは中空PC鋼棒、反力PC鋼棒、アンカーナット、NAPPホルダーおよびエンドホルダーからなる。中空PC鋼棒の緊張時の反力は同鋼棒内に配置された反力PC鋼棒にとらせる。緊張力の開放はNAPPホルダーを緩め、反力PC鋼棒の圧縮力をゼロにすることより行う。使用中空PC鋼棒は、外径29mm、32mm、40mm、43mmの4種類である。平成5年（1993）、千葉県竹中工務店技術研究所CNTスーパーブリッジに初めて応用された。

6. おわりに

フレシネーの独創的なアイデアから出発したPC定着工法は、この70年の間に多彩な発展を遂げた。これがPC構造物の飛躍的な発展普及に大いに寄与したことは論を待たない。PC定着工法の発展の経過を各種資料に基づき、できるだけ正確に表示したつもりではあるが、技術開発はどの時点をもって完成と見なすかは、たいへん難しい問題であ

る。常に改良進歩が伴うからである。正確を期したつもりではあるが、勘違い、誤解などがあればご容赦願いたい。また、誌面の都合で、表示できなかった工法も一部あり、併せてご容赦願いたい。これをまとめるにあたって、各工法の関係者の皆さまに、多々ご教示をいただいた。深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) フレシネー、シーユ：日本国特許第96254号、補強「コンクリート」製品の製造方法、1932
- 2) Freyssinet：Brevet d'Invention No.926, 505, Systeme d'Ancrages de Câbles sous Tension Destinés a la Réalisation de Constructions en Béton Précontraint, 1939
- 3) 吉田：鋼絞コンクリート（Stahlsaitenbeton）に就いて、建築雑誌、1939.9
- 4) ホイエル：日本国特許第142295号、鉄筋「コンクリート」の製法、1941
- 5) 鉄道技術研究所鉄道業務資料、1944
- 6) Magnel：Prestressed Concrete, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1954
- 7) 猪股：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
- 8) Guyon：Béton Précontraint, Editions Eyrolles, 1958
- 9) Lin：Design of Prestressed Concrete Structures, John Wiley and Sons, Inc. 1963
- 10) プレストレストコンクリート技術協会：PC定着工法、1977, 1982, 1988, 1997
- 11) プレストレスト・コンクリート建設業協会：三十年史、1985
- 12) 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
- 13) 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、1991
- 14) 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）、1996
- 15) 仁杉：プレストレストコンクリート（PC）事始め、プレストレストコンクリート、Vol.42, No.1, pp. 10～14, 2000
- 16) 極東鋼弦コンクリート振興(株)：FKKフレシネー工法施工基準、2000
- 17) Ordonez, 池田（監訳）：PC構造の原点フレシネー、建設図書、2000
- 18) プレストレスト・コンクリート建設業協会：Prestressed Concrete Year Book, 1964～1998

【2000年9月1日受付】