

日本における PC のはじまりから黎明期

手塚 正道*1・前田 晴人*2・井谷 計男*3・九富 理*4

プレストレストコンクリート（以下、PC）技術の継承の観点から、PC工学会では、PCに関する資料を集約し、いつでも検索できる体制を整えることがきわめて重要であると判断し、PC技術のアーカイブ化を目的にPCアーカイブス委員会を2018年7月に設置し、活動を開始したところである。

本解説は、設立60周年記念特集号にあたり、これまでにPCアーカイブス委員会で収集できている資料から、日本におけるPCのはじまりから黎明期までの、研究、構造物への適用、学協会の活動などの動向をまとめたものである。これまでに、幾度か特集号などで紹介されている内容であるが、情報として入手できていない若い方、これまであまり接することのなかった方、再度見直してみたいと思う技術者を対象に、改めて紹介することとした。なお、これまでに紹介されている内容と重複するところもあるが、できるだけこれまでに紹介されていない資料内容に焦点をあてて解説することに留意した。

キーワード：プレストレストコンクリート、鋼弦コンクリート、黎明期、PCアーカイブス

1. はじめに

プレストレストコンクリート（以下、PC）は、第二次世界大戦前から海外の論文を参考に研究が開始されていたものの本格的な研究が進められたのは戦後であった。その後、1952（昭和27）年のフレシネー工法の技術導入を契機に実用化が急速に進展した。それに合せてPC技術協会（現、PC工学会）が1958（昭和33）年に発足し、規準などを含めた多くの書籍類を発刊してきた。

しかし、PC技術協会発足以前の資料や、発足後においても研究機関や企業などで実施された研究開発資料が協会誌などに集約されているわけではなく、各機関に散在しているのが現状である。

そこで、PC技術の継承の観点から、これらの資料を集約し、いつでも検索できる体制を整えることがきわめて重要であること、また、とくに古い資料の存在を知る方々も高齢化しており、早期に取り組むべき課題と判断し、PC工学会では、PC技術のアーカイブ化を目的とする委員会を2018年7月に設置し、活動を開始した。

資料収集にあたり、資料は内容により表-1に示すように、Ⅰ.一般とⅡ.構造物の2つに大きく分類し、Ⅰ.一般では5つのジャンルに、Ⅱ.構造物では9つのジャンルに分類し、ジャンルごとに年表形式の一覧表を作成している。こうすることで、どのような資料が収集できているか判別しやすくなること、またこれにより、全体の流れが俯瞰できるようになることを念頭においている。ジャンル別年表の一部を表-2に示す。年表に表示されている部分をクリックすると関連する情報が閲覧できるシステムを目指している。

本解説は、設立60周年記念特集号にあたり、これまでにPCアーカイブス委員会で収集できている資料から、日本におけるPCのはじまりから黎明期（ここでは、黎明期を昭和26年から本工学会が発足した翌年の昭和34年までと設定している）までの、研究、構造物への適用、学協会の活動などの動向をまとめたものである。これまでに、特集号などで紹介されている内容^{1)~4)}であるが、情報として入手できていない若い方、これまであまり接することのなかった方、再度見直してみたいと思う技術者を対象に、



*1 Masamichi TEZUKA

オリエンタル白石(株)
PCアーカイブス委員会
委員長



*2 Haruhito MAEDA

(株)日本構造橋梁研究所
副委員長兼原稿企画
WG主査



*3 Kazuo IDANI

極東鋼絨コンクリート
振興(株)収集整理
WG主査



*4 Osamu KUTOMI

JR東日本コンサルタンツ(株)
システム検討WG主査

表 - 1 資料収集ジャンル一覧表

I. 一般					II. 構造物								
① 特許、学協会設立、社会情勢など	② 研究・論文	③ 法制・基規準・標準・JIS など	④ 定着工法・架設工法	⑤ 材料	① 道路橋	② 鉄道橋	③ マクラギ他鉄道構造物	④ 建築	⑤ 容器	⑥ 防災	⑦ 舗装	⑧ 海洋構造物	⑨ その他

表 - 2 ジャンル別年表例

区分	① 特許、学協会設立、社会情勢など			② 研究・論文			③ 法制・基規準・標準・JIS など			④ 定着工法・架設工法		
初期	1872(明5) ジャクソンがアメリカで特許取得 1886(明19) ジャクソンがアメリカで特許取得 1888(明21) F.W.Döhring がドイツで特許取得 1928(昭3) フレシネーがフランスで特許出願 1929(昭4) フレシネーが日本に特許出願 1930(昭5) フレシネーがフランスで特許取得 1930(昭5) B.Rumal が PC 管製造 1932(昭7) フレシネーが日本で特許取得 1937(昭12) ホイヤーがドイツで特許出願 1938(昭13) ホイヤーが日本に特許出願 1939(昭14) フレシネーがフランスに定着システムの特許出願 1939(昭14) ホイヤー著「Der Stahlsaitenbeton」発刊 1940(昭15) マニュエルが定着システムを考案 1941(昭16) ホイヤーが日本で特許取得 1949(昭24) 日本のフレシネー特許1956年5月まで延長 1950(昭25) 日本鋼弦コンクリート(株)設立			1939 吉田宏彦が PC を最初に国内で紹介「鋼絛コンクリート (Stahlsaitenbeton) について」, 建築雑誌 1940 吉田宏彦:「鉄筋コンクリートの新体制」, 建築雑誌 1941 鉄道大臣官房研究所「鋼絛コンクリート研究委員会」設置 1942 吉田宏彦:「元応力応用方式鉄筋コンクリートの応力分野に関する光弾性学的研究」, 建築学会論文集 1944 吉田宏彦:「鋼絛コンクリートの製作、特にピアノ線の緊張とその調整について」, 建築学会論文集 仁杉 巖:「鋼絛コンクリートの研究」, 鉄道業務研究資料 1946 商工省鉄鋼技術委員会第8小委員会として「鋼絛コンクリート委員会」設置 1948 商工省の技術委員会解消後個別の研究機関で継続 1950 仁杉 巖:「鋼絛コンクリート桁の設計法に関する実験的な研究」, 土木学会論文集			1886 國縣道新設又ハ變換ニ係ルモノ其築造保存方法等取調標準 1919 道路構造令, 街路構造令, 大正八年道路構造令 1926 道路構造に関する細則案 1931 土木学会: 鉄筋コンクリート標準示方書 1935 道路構造令並同細則改正要項 1936 土木学会: 鉄筋コンクリート標準示方書・同解説 道路構造令並同細則改正案解説 1940 土木学会: 鉄筋コンクリート標準示方書・同解説 1949 土木学会: コンクリート標準示方書(案) 1950 土木学会: コンクリート標準示方書解説					
	1951	昭26	対日講和条約, 日米安保条約調印 東日本コンクリート(株)設立	運輸省: プレストレスト・コンクリート製枕木及び鉄道桁の研究			土木学会: コンクリート標準示方書			マニュエル工法技術導入		
	1952	昭27	ピー・エス・コンクリート(株), 敦賀ピー・エス・コンクリート(株), 北日本ピー・エス・コンクリート(株), オリエンタルコンクリート(株)設立 日本材料試験協会設立 極東鋼弦コンクリート振興(株)設立 興和産業(株) PC 操業開始 PC マクラギ懇話会発足	通産省: 中古ワイヤーロープを使用して大型梁・桁等のプレストレスト・コンクリート部材の製作方法 文部省: 構造物材消費の合理化に関する研究 建設省: プレストレスト・コンクリート梁の剛性度に関する研究			新道路法公布			フレシネー定着工法マルチワイヤーシステム導入		
黎明期(昭和26~34年頃)	1953	昭28	PC 構造研究委員会設置(日本材料試験協会高張力網研究委員会内) 土木学会: プレストレストコンクリート委員会設置 別子建設(株) PC 操業開始 朝鮮動乱休戦成立	運輸省: プレストレスト・コンクリート製シートパイルの研究 建設省: プレストレスト・コンクリートの建築構造物への応用に関する研究 猪俣俊司: 「プレストレストコンクリート桁に関する研究」, 土木学会論文集 通産省: 鋼絛コンクリート工法による建築材料及び土木材料の試験研究 建設省: 長径間プレストレスト・コンクリート橋施工に関する調査研究								
	1954	昭29	(株)安部工業所 PC 操業開始 九州鋼弦コンクリート(株)設立 第1次道路整備5ヵ年計画決定	建設省: プレストレスト・コンクリート不静定構造物における二次モーメントの取扱について 2層組立フレーム模型によるわが国初の振動実験(建築)			フレシネー工法独自の鋼材規格 HTS-7 制定					
	1955	昭30	PC 懇話会(PC 建協の前身)設立 日本住宅公団設立 プレストレスト・コンクリート工業協会発足(PC マクラギ懇話会を改組)	建設省: プレストレスト・コンクリート舗装に関する研究 建設省: プレストレスト・コンクリートの連続梁への応用に関する研究(第二次) 仁杉 巖: 「支間30mのプレストレストコンクリート鉄道橋(信楽線第一大戸川橋梁)の設計, 施工及びこれに関連して行った実験研究の報告」, 土木学会論文集 建設省: プレストレスト・コンクリートの連続梁への応用に関する研究			土木学会: プレストレストコンクリート設計施工指針 フレシネー工法独自の鋼材規格 HTS-10 制定 日本水道協会: 水道施設基準			安部ストランド工法開発		

改めて紹介することとした。なお、これまでに紹介されている内容と重複するところもあるが、できるだけこれまでに紹介されていない資料内容に焦点をあてて解説することに留意した。

2. PCのルーツ

鉄筋コンクリート（以下、RC）の特許は、フランスのランボー（Joseph Louis Lambot）が、舟形に組んだ鉄網にモルタルを塗り付け、木製に代わる小船を製作し、1855年に申請したのが最初とされている。その後、フランスの造園技師であったモニエ（Joseph Monier）が1867年にコンクリート中に鉄網を入れて、植木鉢や枕木を造るアイデアを出願している（図 - 1）⁵⁾。モニエは、その後、1887年にはRCの基礎となる、コンクリート中に配置した鉄筋が引張力に抵抗するという考え方を示し特許としている。

RCの基礎が固まる時期と前後して、アメリカのジャクソン（Peter H. Jackson）が、PCに関する最初とされている特許を1872年と1886年に取得している。前者は、石造またはコンクリート製のブロックの中に鉄製のロッドを通し、ナットでこれらブロックを締め付けて一体化するというものである（図 - 2）⁶⁾。後者は、アーチ形のコンクリート床版の補強に緊張した鋼材を使用するものである（図 - 3）⁷⁾。いずれも引張応力が作用するところにあらかじめ圧縮力を作用させておくというPCの原理を具現化したものといえる。

ドイツ、オーストリア、ノルウェー、ソ連などの各国においても相次いで、PCの原理を具現化したさまざまな考案が発表されているが、結果的にその効果が実現できていない。1900年ドイツのケーネン（M. Koenen）は、コンクリート梁に普通軟鋼を用いてあらかじめ導入しておいた圧縮応力が時間とともに減少し、最終的に消滅してしまうことを確認している²⁾。

その後、20年余りの歳月を要し、フランスのフレシネー（Eugene Freyssinet）は、この原因がコンクリートのクリープ、乾燥収縮による変形であることを突き止めた。そこで、フレシネーはあらかじめ導入しておいた圧縮応力が永久的に残留するための対策として、鋼材は引張強度が軟鋼（鉄筋）の5～6倍ある高強度鋼材を、コンクリートは高強度コンクリートを使用する必要があることを示し、1928年に「鉄筋コンクリート製品の製造方法」としてフランスに特許を出願している⁸⁾。特許の付図の一部を図 - 4に示す。この図によると、プレテンション方式を連想させるが、本文の中ではとくに限定されておらず、ポストテンション方式も範疇に入るPCの原理を示す基本特許として位置付けられている。まだこの時点では、プレストレストコンクリートという用語は用いられてない。

この特許は、翌年に日本にも『補強「コンクリート」製品の製造法』として出願され、1932（昭和7）年に成立している^{9, 10)}。しかし、原理特許のため難解であったこと、コンクリート関係者の目の届きにくいバルブ製作機のなかに分類されていたこともあり、その当時日本では注目されることなく特許庁に埋もれたままとなっていた。

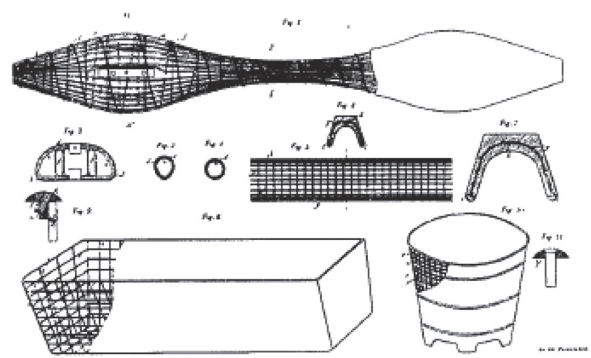


図 - 1 モニエの特許付図例（1867年）⁵⁾

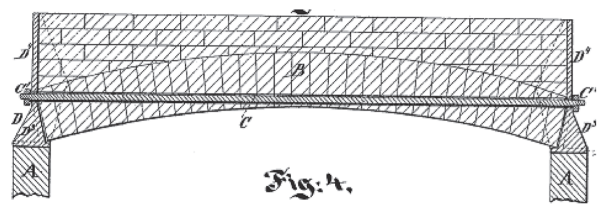


図 - 2 ジャクソンの特許付図例（1872年）⁶⁾

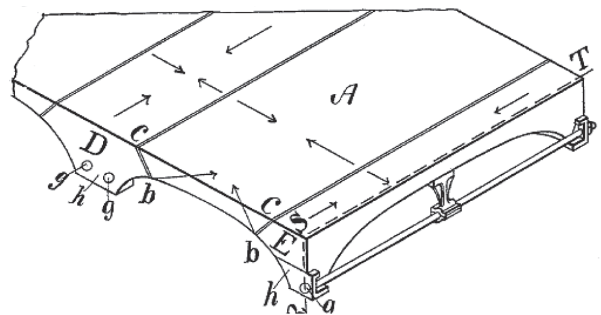


図 - 3 ジャクソンの特許付図例（1886年）⁷⁾

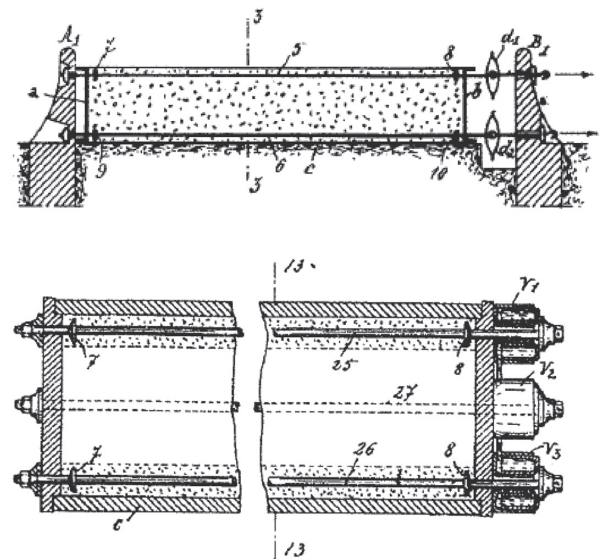


図 - 4 フレシネーの基本特許付図例（1928年）⁸⁾

1937年にチェコスロバキアのホイヤー (Ewald Hoyer) がプレテンション部材を製作する特許をドイツに申請し、翌年には日本にも出願されている¹¹⁾。この特許は、プレテンション方式について、より実用に供するように具体的に示されている。フレシネーがプレストレス導入時に鋼材の碇止 (スリップ防止機能を有する定着) 装置の必要性も提示しているのに対して、ホイヤーは0.5～5mmの高張力鋼材を用いることで碇止装置を使用しないで定着できることを明示している。1939年にはこの技術が著書「Der Stahlsaitenbeton」として出版されている。詳細については日本に紹介された文献で後述する。

さらに特筆しておく特許として、1939年にフレシネーが「プレストレスコンクリート構造施工のための張力を受けたケーブルの定着システム」を出願している¹²⁾。この特許で初めて「プレストレスコンクリート (Béton Précontraint)」という用語が使用されている。

この特許は、ポストテンション方式において、プレストレスングをいかにコンパクトに行うかという命題に向き合っ出された回答といえるものである。最近まで主に使用されていたくさび定着装置とその緊張装置の考案である。図-5に特許に示されている付図と、図-6にその後具現化された定着具 (コーン) と緊張装置 (特殊ジャッキ) を示す¹³⁾。両者を比べると、きわめて類似しており、その発明の精度の高さがうかがえるものである。これによりPCの利用は画期的に増大し、PC技術の普及に貢献することになる。

1940年には、ベルギーのマニユエル (G Magnel) がポストテンション方式の定着工法を考案している。日本で最初に使用された定着工法である。その概要は後述する。

3. 日本におけるPCのはじまり

各国で始められたPCの研究に関する情報は、戦争の影響で自由に入手できる状況ではなかった。そのような状況で唯一日本で入手できたのが、第二次世界大戦で同盟国となるドイツからの情報であったようである。

PCが日本で最初に紹介されたのは、1939 (昭和14) 年になって、福井高等工業学校教授の吉田宏彦が、前出のホイヤーの著書を建築雑誌に直訳して、「鋼絨コンクリート (Stahlsaitenbeton) に就いて」と題して解説した記事においてである。このときの絨は糸偏であり楽器 (ピアノ) の絨を想定したものであると思われる。この後、公には弓偏の弦が使用されている。

鋼絨コンクリートは、対象をプレテンション方式としたものであるが、第1の特徴は、鋼材として軟鋼の10倍以上の強度を有するピアノ線 (引張強度が約12000～30000 kg/cm²) を使用し、高い引張応力度を作用させて圧縮力を導入することで、コンクリートの収縮とクリープ作用による応力度の減少割合がより小さくなる点である。第2の特徴は、鋼材の縦ひずみに付随する横ひずみにより引張力作用時は径が減少し、引張力を解除すると部材端部において、径が元の状態に復元しようとする特性を明示している点である (図-7)。引張応力が大きいほどその傾向が大きくなる

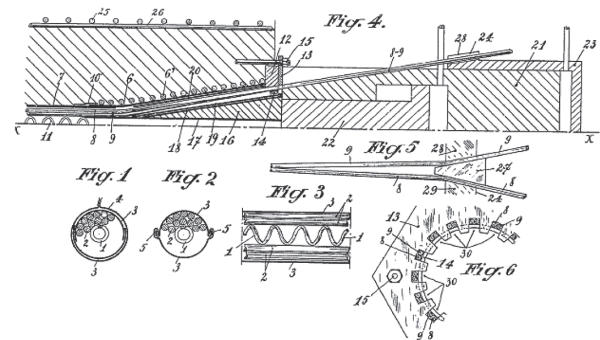


図-5 フレシネーのPC定着システムおよびジャッキの構想¹²⁾

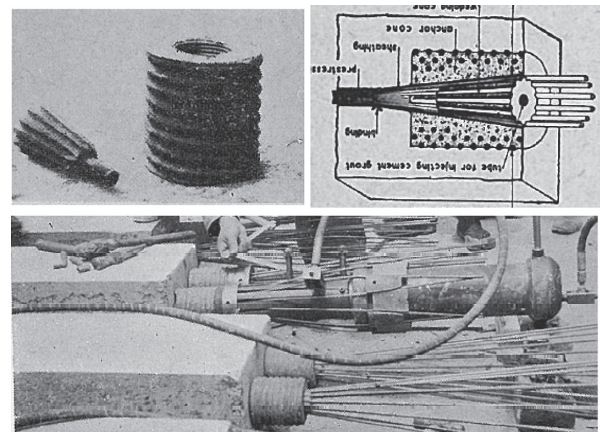


図-6 フレシネー工法の定着具および緊張ジャッキ¹³⁾

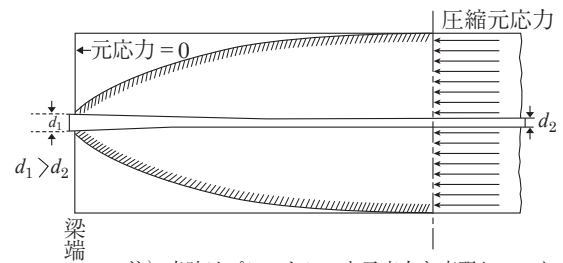


図-7 ホイヤーによる部材端部のプレストレス分布概念¹⁴⁾

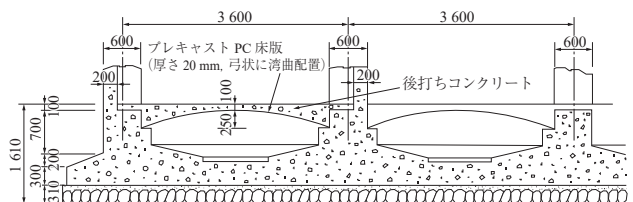


図-8 小松市庁舎地階ポンプ室プレテンションPC床版使用床スラブ^{15, 16)}

ため定着に有利に働くことになり、さらに、細い (0.5～3 mm) 鋼材を使用することで引張応力あたりの表面積が大きくなるため定着に有利となる点である。加えて、高振動の締固めにより高強度コンクリートにすることで、大

きな圧縮応力を碇止装置を設けることなく導入できることを示している。

この記事では、以下の章立てにより、鋼絨コンクリートの全容を紹介している。

- 1) 緒言
- 2) 鋼絨コンクリートの著想
- 3) 鉄筋コンクリートより鋼絨コンクリートに至る推移
- 4) HOYER 式鋼絨コンクリート
- 5) 鋼絨コンクリートの荷重試験
- 6) 鋼絨コンクリートの附着試験
- 7) 鋼絨コンクリートの耐火試験
- 8) 鋼絨コンクリート材の製作
- 9) ドイツにおける鋼絨コンクリート構造の実施
- 10) 鋼絨コンクリートと今後の発展

吉田宏彦は、1943（昭和18）年12月に自らプレテンション I 型供試体（高さ 20 cm，幅 10 cm，長さ 271 cm）を京都大学の研究所で製作し、梁断面に偏心配置したピアノ線の緊張解除とともに梁が反り上がる現象を見てプレストレスが導入されていることを確認している。また、その荷重試験でホイヤーの著書に述べられていることを再確認している。その後、戦争で中断を余儀なくされるが、1947年には、鋼絨コンクリート薄版（flexible concrete）を荷重による曲げと反対の方向に湾曲させて配置し、それを基底にしてその上にコンクリートを打ち増して梁や床版とする特許を取得している。1951年にはその実施例として石川県小松市庁舎の地階の一部にこの特許が使用されている。図 - 8 にその断面の概要を示す^{15, 16)}。アーチ部における鋼絨コンクリート薄版の厚さは 20 mm である。

戦後の日本における PC の研究に貢献したのものとして、1946（昭和21）年に商工省鉄鋼技術委員会第 8 小委員会として設置された「鋼絨コンクリート委員会」がある。軍事資材として多量に余ったピアノ線を用いて、鋼絨コンクリートの構造的研究を行い、その結果を戦後復興に必須の諸施設の建設に供するための技術を確認することを目的としていた。建設省、運輸省、大学から 34 名の委員が、冶金関係の第 1 班、建築関係の第 2 班並びに土木関係の第 3 班に配属され、あらゆる角度から研究が推進された。吉田宏彦、後述の仁杉 巖も参加している。これらの成果は、「セメント・コンクリート」の 1949（昭和24）年 3 月～1950（昭和25）年 1 月号にわたって発表されている¹⁷⁾。

一方、鉄道大臣官房研究所（現、（公財）鉄道総合技術研究所）において、1941（昭和16）年に「鋼絨コンクリート研究委員会」が設置され、研究を開始している。参考としたのは、やはりホイヤー著の鋼絨コンクリートであった。

仁杉 巖が 1943 年から研究に参加し、1944 年～1948 年に実施した一連の成果を 1950 年に「鋼絨コンクリート桁の設計法に関する実験的な研究」として土木学会論文集に発表している¹⁸⁾。仁杉 巖は「この研究は、ホイヤーの本に書かれていることが私が行った実験と合うかどうか、そうした実験を通して PC というものをどう考え、どう取り扱うかを勉強したものである。」と述懐している¹⁹⁾。

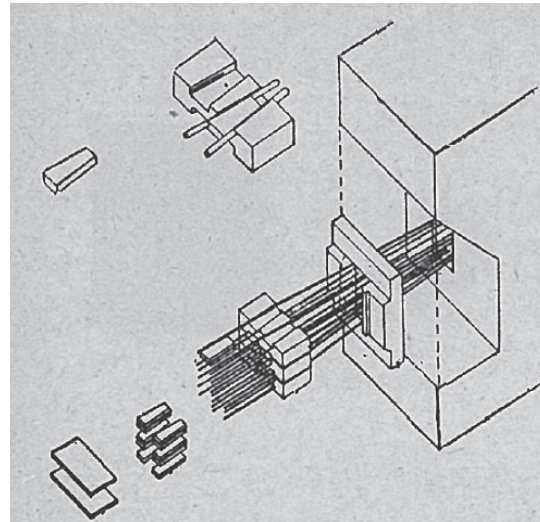


図 - 9 マニュアル式定着装置の概要²¹⁾

本論文は、32 種 82 本の鋼絨コンクリート（プレテンション）桁の実験結果について報告している。実験の結果、明らかになったのは次の事項である。

- 1) 桁製作器具及び製作についての主要な点
- 2) 鋼絨コンクリートをつくるに必要とされる鋼絨及びコンクリートの性質
- 3) 初応力（プレストレス）、ひび割れ荷重の計算方法
- 4) コンクリートの収縮とクリープの桁に及ぼす影響
- 5) 鋼絨とコンクリートの附着
- 6) 桁破壊荷重の計算方法
- 7) 斜引張応力による破壊に対する補強
- 8) 桁設計並びに製造に関する規準

この中で、ホイヤーの主張と大きく違ったのは、ホイヤーが、桁における斜引張応力度は初応力があると初応力がない桁より減るので、腹鉄筋をとくに配置しなくてもよいとしている点である。これに対して仁杉 巖は、PC では斜引張応力でウェブがせん断破壊しないようにウェブの厚さを十分とるとともに、曲げ破壊を起こす間にせん断破壊を起こさないように腹鉄筋は必ず配置すべきだと結論付けている。

また、2.75 m のコンクリート鉄道橋に本研究結果を適用すれば、普通の鉄筋コンクリート橋に比較して、コンクリートが 46 %，鋼が 20 % の量で十分であることを試算している。

その後研究は、猪股俊司に引き継がれ、1947 年～1952 年に主にポストテンション桁に関する一連の実験を行い、その成果を 1953 年「プレストレスコンクリート桁に関する研究」として土木学会論文集に発表している²⁰⁾。

実験の内容は以下のとおりである。

- 1) ポストテンション方式による 7 種 17 本の桁の静的破壊試験
- 2) プレテンション方式による 6 種 44 本の桁についての疲労試験
- 3) 一定応力のもとにおける鋼線のクリープ試験
- 4) プレストレスコンクリート桁のクリープ試験

実験の結果、明らかになったのは次の事項である。

- 1) ポストテンション方式における施工器具および製作についての注意事項
- 2) 鋼線緊張作業中に起こる次の原因による引張力の減少量の計算方法
 - i) 摩擦 ii) 弾性ひずみ iii) 定着部における鋼線の滑動
- 3) 桁の破壊荷重計算方式
- 4) ポストテンション方式によって製造した桁でグラウチングを実施した場合と、実施しなかった場合との力学的相違点
- 5) 桁の静的破壊強度と疲労強度との関係
- 6) 疲労によるひび割れを防止するための引張応力の制限値
- 7) 繰返し回数とひび割れ幅および中立軸との関係
- 8) プレストレストコンクリート桁のクリープ値および計算方法
- 9) 桁設計および施工に関する規準

ポストテンション方式における鋼線の定着方式には、前出のフレシネー式ではコーンの製作に特別な技術を要するという理由から、もっとも簡単なマニュアル式のくさび定着を用いている。マニュアル式定着装置の概要を図 - 9 に示す²¹⁾。海外の文献を参考に独自に製作したものと思われる。

これらの研究成果により、PC は今後普及していくための課題はあるものの、日本においても実用化の目処は立ったものと推測される。

4. PC 工業化のはじまり

民間企業で初めて PC の研究に取り組んだのは、東日本重工業(株)七尾造船所であった。終戦直後は本業の造船受注が少なく、その他の製造品目を模索していた。そのような中、鉄道関係の部品を納めていた関係で、国鉄から枕木の PC 化の動向を知り、PC への関心を高め、1950 (昭和 25) 年から前出のホイヤー著の原書入手し研究に着手した。コンクリートに関してはまったくの門外漢であったため、吉田宏彦、猪股俊司らの技術指導を受けながら進めていた。さらに、「プレストレスト・コンクリート製枕木及び鉄道桁の研究」の名目で運輸省科学技術応用研究補助金の認許を受け研究に弾みがついた。

ここで特筆すべきは、造船所であったため鋼材が比較的容易に入手できたこと、機械類の製作には長けている技術者がいたことである。このことが、温水養生層を兼ねた鋼製アバット、PC 鋼線定着板、重錘型緊張装置、応力導入装置、さらには固練りコンクリートの締固め装置の開発につながり、研究を始めてわずか 1 年で PC マクラギの量産化や桁の製造の実用化にこぎつけることにつながっている。当時開発された装置を写真 - 1, 2, 図 - 10, 11 に示す²²⁾。これらの装置を用いて、1951 年には国鉄へ PC マクラギを製造し納入している。また、日本最初の PC 道路橋の桁を製造し、翌 1952 年 2 月に、橋長 11.6 m, 幅員 6 m, 支間 3.6 m の長生橋を完成させている。1952 年 3 月

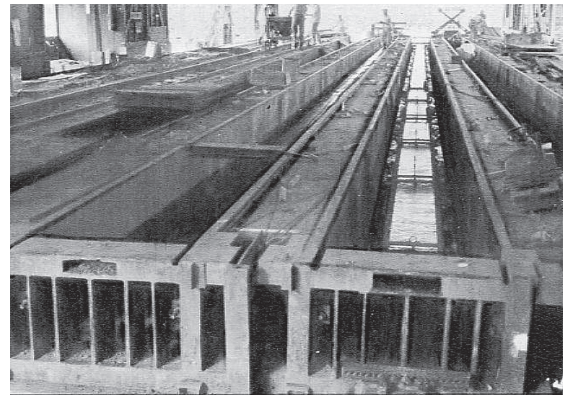


写真 - 1 温水養生層を兼ねた鋼製アバット²²⁾

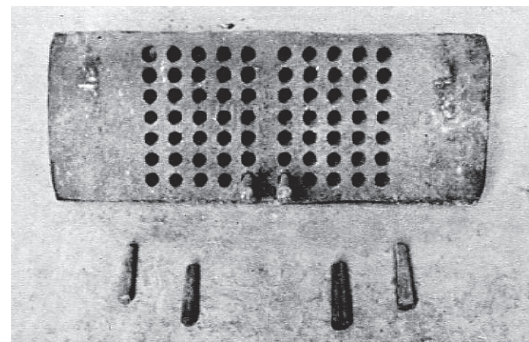


写真 - 2 PC 鋼線の定着板とコッター²²⁾

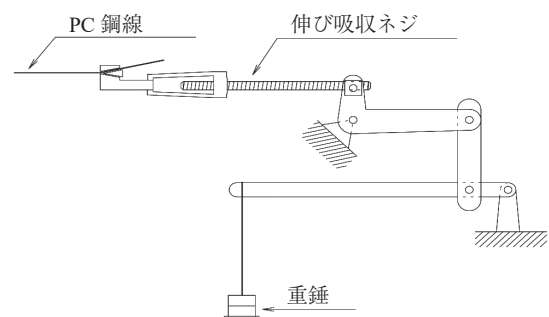


図 - 10 重錘型緊張装置 (改良型) の仕組み²²⁾

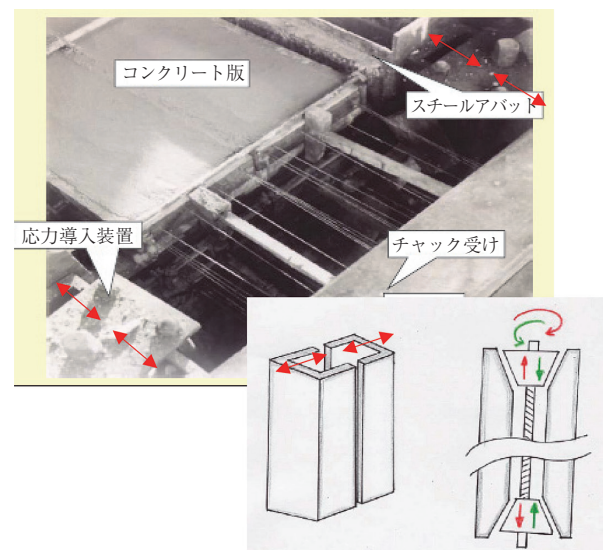


図 - 11 応力導入装置の設置状況とメカニズム²²⁾

には社名をピー・エス・コンクリート(株)に変更し、日本最初のプレストレストコンクリート製造会社の設立に至った。

外山軌材(株)は社名を1950年に日本鋼弦コンクリート(株)と改名して、PCマクラギの研究を開始し、時を同じくしてPCマクラギを製造納入している。

また、東日本重工業(株)七尾造船所の敦賀工作部が、1952年4月に、敦賀ピー・エス・コンクリート(株)として設立されている。

このように日本のPC工業化が芽生え始めた状況のなかで、その後のPCの普及・発展に大きな影響を与えることになるのが、1952年7月に日本における前出のフレシネー特許の専用実施権を持つことになった極東鋼弦コンクリート振興(株)(以下、FKK)の設立である。1932(昭和7)年に日本で登録された基本特許は、15年経過後の1947年に失効するはずであったが、第二次世界大戦の敗戦国となったことにより、連合国人工業所有権戦後処置令が1949年9月に発令され、同特許は1956年まで延長されていた。戦前にフランス政府招聘研究員として滞仏し、フランスの土木に縁故の深かった当時国鉄の渉外課長であった藤田亀太郎は、1950年以降同特許を保有するSTUP社と折衝を重ね、STUP社の極東総代理店として、FKKを設立している²³⁾。同特許がPCに関する基本特許であり、日本でのあらゆるPC工事が同特許に抵触するため、PC工事を行うには、FKKとの再実施権契約を結ぶ必要が生じた。このため、すでにPCを事業化していた企業が再実施権契約を結ぶとともに、新たに多くの企業が、この契約を足掛りに、設立されることとなった。1957年までに設立したPC関連会社の一覧を表-3に示す²³⁾。この期を境として、PCの工業化は軌道にのっていくこととなる。

また、1951年の前出の運輸省からの補助金を皮切りに、1959年にかけて建設省、通産省他から、PCを建築構造物、パイル、舗装など、多種にわたって利用し実用化を図るために、補助金が交付されている。官民一体となった取組みがPCの普及に弾みをつける役割を担ったと思われる。

日本で最初にポストテンション方式による桁の施工が行われたのは、1952年の東京駅第6、第7ホーム新設工事であった。支間10.5m、けた高0.7mでマニュアル工法が用いられている。現地でバッチャープラント設備を準備し、スランプ0~3.0cmのコンクリートを製造し対応している²⁴⁾。残念ながら東北新幹線の東京駅乗り入れ工事に伴ってPC桁は撤去されたが、撤去桁の一部は、当時施工した(株)ピーエス三菱の技術研究所に保管されている(写真-3)。

ポストテンション方式による鉄道橋としては、1953年3月に大阪駅構内に軌道こう上用桁(線路を持ち上げる工事の桁)として、夜間4~5時間の列車が走っていない時間帯に施工された支間4.9mの桁が最初である。ほぼ同時期(8月)に完成した支間4.2mの光弦橋は、東京都府中市に開設されたオリエンタルコンクリート(株)多摩工場の貨物専用側線が横断する水路上に架けられた橋である²⁵⁾。橋軸方向に3個のプレキャストブロックを結合した桁6本

表-3 PC関連企業の設立(創業時と現在の社名)

年(昭和)	月	創業時	現在
1950(25)	12	外山軌材(株)から日本鋼弦コンクリート(株)	(株)安部日鋼工業
1951(26)	6	東日本コンクリート(株)	東日本コンクリート(株)
1952(27)	3	ピー・エス・コンクリート(株)	(株)ピーエス三菱
1952(27)	4	敦賀ピー・エス・コンクリート(株)	(株)日本ピーエス
1952(27)	4	北日本ピー・エス・コンクリート(株)	—
1952(27)	7	極東鋼弦コンクリート振興(株)	極東鋼弦コンクリート振興(株)
1952(27)	7	興和産業(株)PC操業	—
1952(27)	10	オリエンタルコンクリート(株)	オリエンタル白石(株)
1953(28)	3	別子建設(株)PC操業	三井住友建設(株)
1953(28)	4	興和コンクリート(株)	極東興和(株)
1953(28)	4	極東工業(株)	極東興和(株)
1954(29)	3	(株)安部工業所PC操業	(株)安部日鋼工業
1954(29)	4	九州鋼弦コンクリート(株)	(株)富士ピー・エス
1956(31)	2	昭和コンクリート工業(株)	昭和コンクリート工業(株)
1956(31)	5	日本高圧コンクリート(株)PC操業	日本高圧コンクリート(株)
1956(31)	6	前田製管(株)PC操業	前田製管(株)
1956(31)	9	北海道ピー・エス・コンクリート(株)	ドービー建設工業(株)
1956(31)	12	中央ピー・エス・コンクリート(株)	—
1957(32)	2	ピーシー橋梁(株)	(株)IHIインフラ



写真-3 日本で最初にポストテンション工法を採用した東京駅ホームの撤去桁(株)ピーエス三菱提供)



写真-4 現存する十郷橋(筆者撮影)

から構成されている。この橋も撤去されたが、その一部がオリエンタル白石(株)技術研究所に保管されている。

ここまでは定着工法としてマニュアル工法が採用されている。マニュアル工法は簡単な構造ではあるが、大容量タイプとなると、定着部に多くの鋼材が必要となること、緊張作業に手間を要することなどの短所があり、さらには、効率性の良いフレシネー工法を導入できる体制が整ったことから、以降はフレシネー工法が用いられるようになる。

日本初のポストテンション工法道路橋として東十郷橋(のちに、十郷橋)が、1953年に施工されている。十郷橋

は工場で製作された2.8 mのプレキャストブロック3個をポストテンション方式で橋軸方向に一体化した桁を併置し、間詰めコンクリートを場所打ちした、支間7.17 m、幅員7.5 mのPC床版橋である。定着具、緊張ジャッキはSTUP社から購入し、同社から派遣されたフランス人技術者コバニコ（Serge Kovanyko）から、設計・施工の指導を受けている¹⁾。従来の鉄筋コンクリート橋に比べ、鋼材量が1/5～1/6、コンクリート量が1/2で同一の強度を得る画期的な技術として、PCに対する関心を大いに高める結果となった。竣工検査では、実車のトラックを用いた載荷試験が行われ、耐荷性が確認されている。本橋は65年経過した現在も使用され続けている（写真 - 4）。

同様な体制のもと、同年に、日本初となるPC不静定構造となる北陸本線山中 - 大桐間山中ロックシェッドが施工されている。L型鉄筋コンクリート擁壁と、柱、連続梁、スラブで構成され、柱と連続梁はポストテンション方式で、スラブはプレテンション方式である。梁は5.2 mの4支間連続である。初めての試みであるため、実物大の2支間連続梁試験体を製作し、破壊試験を行って、所要の安全性を有していることを確認している²⁶⁾。現在は道路の防災施設の役割を担っている（写真 - 5）。当時の設計計算書、図面、工程表が、現在もFKKに青焼きとして保管されており、その一部を写真 - 6に示す。保存状態もよく、まさに貴重な資料といえる。

1954年には、支間30 mとなる本格的な鉄道橋として、第一大戸川橋梁が施工された。この橋梁は、当時、紀州に大水害があり、滋賀県にある信楽線の大戸川橋梁10 m × 3 径間が流出して、そのあとに30 mを1径間でわたる橋梁として計画されたものである。支承には、フランス式コンクリートロッカーを使用している。担当した仁杉巖は、設計はコバニコに依頼し、自分自身が十分納得できない次の事項について、工事を始める前に実験を行ったと述懐している¹⁹⁾。

- 1) PC鋼線を緊張した場合、鋼線とシースの間の摩擦をどのくらい考えるのか。
- 2) シース内に注入するグラウトの配合と注入作業をどうしたらよいか。
- 3) PC鋼線を引っ張ることによって計算どおりのプレストレスが導入できるか。
- 4) ポストテンション桁のひび割れ荷重、破壊荷重の大きさは。
- 5) 桁のコンクリートに起こる乾燥収縮、クリープ量およびこれらによって起こるピアノ線の応力低下はどのくらいか。
- 6) 硬練りコンクリートをどうして打ち込むか。

これらの実験の結果は、土木学会論文集に発表されている²⁷⁾。のちに、仁杉巖がこの一連の実験を振り返って、2)について、「最大の努力を払ったつもりであるが、今私がこの桁の耐久性で心配が残っているとすれば、それはグラウトが十分シースの中に行き渡って鋼線を保護しているかどうかという点である。」と述懐している。確認ができない作業への不安であり、ポストテンション方式の課題を示



写真 - 5 現存する山中ロックシェッド (筆者撮影)

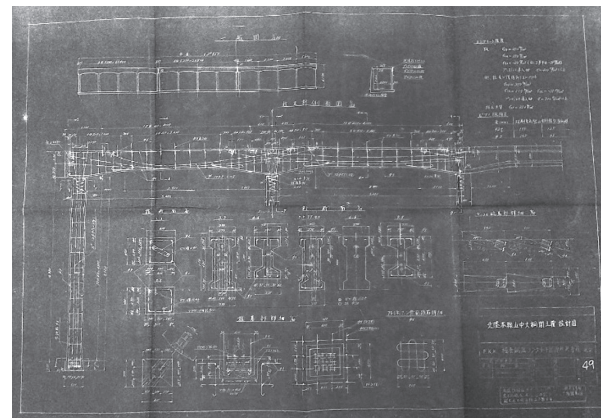


写真 - 6 保管されている山中ロックシェッドの図面 (FKK 提供)

唆している¹⁹⁾。

1955年には、猪股俊司の設計による本格的な道路橋上松川橋梁（支間40 m × 3）が、旧橋の架替えに対する国庫補助事業として施工されている。この橋梁は、福島市街と飯坂温泉とを結ぶ飯坂街道に位置する橋梁であるが、近接して鉄道橋梁があることや桁下高に制限があること、近隣で良質のコンクリート骨材が採れることからPC桁が採用された。特筆すべきは、当時東洋一と呼ばれた最大支間であること、PC鋼線がこれまで直径5 mmを使用していたものが、初めて直径7 mmが使用されたことである。本橋の設計・施工およびこれに関連して行った実験結果が土木学会論文集に発表されている²⁸⁾。

これらの論文が、のちのポストテンション工法の普及に貢献したことは確かであろう。

また、1955年に土木学会において「プレストレストコンクリート設計施工指針」が制定され、土木分野で一般にPCを利用できる環境は整備されたことになる。

PCをもっとも合理的に利用できる円形タンクへの施工実施はもっとも遅れ、1957年に岐阜県伊自良村簡易水道PCタンク（内径6.0 m）が最初であった。定着工法は不明である。次いで1959年3月に横浜市の子安調整水槽（内径8.0 m、高さ17 m）が、また、同年7月に東京火力発電所原水タンクが、ともにフレシネー工法により施工されている¹⁾。

フレシネーファミリー（FKKと再実施権契約を結んだ企業集団）は、フレシネー特許に縛られる形にはなるが、きわめて合理的な定着システムであるフレシネー工法が利

用できたこと、また、STUP社からの技術指導や、技術情報を入手でき、同じ方向を目指して団結した取組みができたことで、PCの普及発展に大きな役割を果たす結果となったのではないと思われる。

5. PC工業化の進展

国鉄でPCマクラギを本格的に発注することになり、1952(昭和27)年には、前出のPC関連6社で「マクラギ懇話会」が発足した。さらに、官界、学界などの動向に刺激されて、1955年5月にはPC関連9社による「プレストレストコンクリート懇話会」が設立され、同年10月に改組し、「プレストレスト・コンクリート工業協会(のちの、プレストレスト・コンクリート建設業協会)」が発足している¹⁾。まだまだ認知度の低いPCをいかに広め浸透させるかを民間の立場で取り組んだ活動である。

まずはマクラギを主要製品と位置付け、PCの企業化が始まったが、運搬費を考慮すると、工場は設置個所に近いところが最適であることなどから、企業は日本全国に分散する形で発生した。多くの企業は、このように、PCのプレキャストコンクリート製品を専門工場で製造し、それを販売する業務形態を採用している。創業当時のPC技術では、プレテンション工法を使用し、PCマクラギなどの運搬可能な工場製品を製造することが主体で、ポストテンション工法を使用する大型の現場工事を行うことができなかったためである。創業後しばらくして、プレテンションPC桁などの工場製品を現場に運び、現場でそれを組み立て床版橋に仕上げる工事付き製品の受注が増え始め、各企業は、名称は〇〇コンクリート株式会社ではあるが、工事でもできるPCプレキャストコンクリート製品製造会社の企業形態をとるようになった。これは日本独自の企業形態であり、その後のポストテンション工法によるPC構造物の施工へもつながり、PC工業化発展の原動力となった。

1949年から1955年のPCの工事額は、毎年1.5倍以上の成長を見せている。当初はプレテンション工法の工事額が勝っていたが、1953年には逆転してポストテンション工法の工事額が多くなった。1955年におけるポストテンション工法の工事額は30.85億円、プレテンション工法の工事額は23.68億円、合計で54.53億円であった。この額は大卒初任給の倍率(約35倍)で評価すると、現在の額としては約1900億円に相当する¹⁻³⁾。

1956年になると、延長されていたフレシネーの基本特許が失効したため、以降、各種工法が技術導入されることになる。

1957年にはスイスからBBRV工法が導入され、白石基礎工事(株)が特許契約者となって普及を始めた。1958年にはドイツからディビダーク工法が導入され、日本で高張力PC鋼棒が製造できる、という条件を満たす住友電工(株)が特許契約者となって普及を始めた。また、1958年にはバウル・レオンハルト工法が、大成建設(株)を特許契約者として技術導入されている^{2,3)}。とくに、ディビダーク工法はのちの長支間、長大橋への道を開く工法であった。この工法の特長は、PC鋼棒を用いることでPC鋼材を任意に

継ぎ足すことが容易にできる点である。すでに緊張定着の終了したPC鋼棒でも、まだ緊張していないPC鋼棒でもカプラーを用いて継ぎ足しができるため、片持ち梁式に架設することができ、架設中に必要であった橋下の支保工が不要となった。

ディビダーク工法活用の第1号として、1959年に相模湖に架かる支間51.2mの嵐山橋が施工されている³⁰⁾。まさに長大化の幕開けである。

プレストレスト・コンクリート工業協会の発足は1955年であったが、PCを技術的にバックアップするプレストレストコンクリート技術協会(のちのプレストレストコンクリート工学会)は1958年に発足した。PCの技術交流の場として、国際的には、すでに国際プレストレストコンクリート連盟(以下、FIP)が結成されており、1953年に第1回国際会議がロンドンで、1955年に第2回国際会議がアムステルダムで開催されている。日本からは仁杉 巖らがオブザーバーとして出席しており、その際に、連盟加入に関する勧誘を強く受けている³¹⁾。それを受けて、プレストレスト・コンクリート工業協会の初代会長である平山復二郎らが、日本からも加盟すべきと判断し、その受け皿となる学術団体として、1958年に「プレストレストコンクリート技術協会」を創立し、FIPに加盟した。初代会長には吉田徳次郎、副会長には坂 静雄が委嘱された。FIPの会費は、その国のセメントの生産高に比例して定められており、当時のセメント生産高は諸外国に比して遜色がなかったため、PCの実績は少ないものの割高な会費となったようである²⁾。1958年のベルリンでの第3回国際会議には、坂 静雄が参加し、その会議の内容が会誌で紹介されている³²⁾。

日本および海外の情報を収集、発信する窓口ができ、規準類その他の環境も整い、PCの普及発展に向けて本格的に始動するに至った。

6. おわりに

日本におけるPCのはじめから黎明期までの動向について、収集できている資料の範囲でその一部を紹介した。今後、収集できた資料をもとに、さまざまな流れが俯瞰できる解説を公表していく予定である。

PCアーカイブス委員会では、委員会のもと、収集整理WG、システム検討WG、原稿企画WGの3つのWGを設けて活動を行っている。収集整理WGは文字どおりアーカイブ化すべき資料を収集し整理するWGである。現在、収集すべき資料の項目分類および項目別の年表を作成し、精力的に活動しているところである。今後は、作成した資料収集年表にしたがい、資料を収集していく予定である。システム検討WGは収集した資料をどのように保存・公開していくかを検討し、そのシステムを構築するWGである。現在、かざられた予算内での効率のよいシステムの構築を模索している段階である。原稿企画WGは、アーカイブ化した資料などを広く一般に知らしめるため、その概要・解説などの作成を企画するWGである。作成した概要・解説などは、学会誌への掲載、PC技術講習会、プレスト

レストコンクリート発展のためのシンポジウムなどの機会を利用して発表していく予定である。

この事業は、資料の収集において会員各位の協力が不可欠な事業である。委員会から資料提供などの要請があった場合には、ぜひともご協力をお願いしたい。また、会員の身近にアーカイブ化しておいた方がよいと思われる資料がある場合には、PC工学会事務局までご一報いただきたい。

最後に、1959年に開催されたPC創生期を偲ぶ座談会で、吉田徳次郎初代会長は「これから先、技術協会が大きくなったら本箱を作って、もう少し段々大きくなるに従ってごらんになる部屋でも作るようにして、やっぱり、資料は急に集めるって集まりませんから、またこういう機会を作って皆さんのお話を承りたい。」と閉めている³³⁾。遅ればせながら、PCアーカイブス委員会がその役割の一翼を担えればと思う次第である。

参考文献

- 1) プレストレスト・コンクリート工業協会：プレストレストコンクリート，第1報，1959.12
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：「30年史」，1985.3
- 3) プレストレスト・コンクリート建設業協会：「50年史」，2005.3
- 4) プレストレストコンクリート技術協会：「50年のあゆみ」，2009.5
- 5) 鈴木 圭：RC橋からPC橋への歴史の変遷，プレストレストコンクリート Vol.42, No.6, pp.89-97, 2000.11
- 6) Peter H.Jackson：桁施工法の改良，アメリカ特許 No.126396, 1872.5
- 7) Peter H.Jackson：人造石製またはコンクリート製アーチの施工，アメリカ特許 No.339296, 1885.5
- 8) Eugene Freyssinet, Jean Seaille：鉄筋コンクリート製品の製造方法，フランス特許 No.680547, 1928.10
- 9) ユージェエヌ・フリーシネ，ジャン・シーユ：補強「コンクリート」の製品の製造方法，日本特許第 96254 号，1929.10
- 10) 鈴木素彦：PC 定着工法の歴史的發展，プレストレストコンクリート Vol.42, No.6, pp.98-107, 2000.11
- 11) エーワルド・ホイエル：鉄筋「コンクリート」の製法，日本特許第 142295 号，1937.4
- 12) Eugene Freyssinet：プレストレストコンクリート構造施工のための張力を受けたケーブルの定着システム，フランス特許 No.926505, 1939.8
- 13) セメント・コンクリート，プレストレストコンクリート特集号口絵，No.77, 1953.7
- 14) 吉田宏彦：鋼絛コンクリート (Stahlsaitenbeton) に就いて，建築雑誌，pp.211-220, 1939.9
- 15) 吉田宏彦：プレストレストコンクリートの発展，セメント・コンクリート，プレストレストコンクリート特集号，No.77, pp.2-15, 1953.7
- 16) 六車 照：PC 建築構造物の発達と歩み - 20 世紀を顧みて -，プレストレストコンクリート Vol.42, No.6, pp.50-58, 2000.11
- 17) 三島徳七他：鋼絛コンクリート委員会研究報告，セメント・コンクリート，N.25-No.39, 1949-1950
- 18) 仁杉 巖：鋼絛コンクリート桁の設計法に関する実験的な研究，土木学会論文集，第 7 号，pp.1-33, 1950.11
- 19) 仁杉 巖：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, 2000.1
- 20) 猪股俊司：プレストレストコンクリート桁に関する研究，土木学会論文集，第 17 号，pp.2-89, 1953.8
- 21) 仁杉 巖：ヨーロッパにおけるプレストレストコンクリート，セメント・コンクリート，プレストレストコンクリート特集号，No.77, pp.21-27, 1953.7
- 22) 奥田由法，西垣義彦，松本一昭，鳥居一之：日本で最初のプレストレストコンクリート道路橋長生橋について，土木学会 第 31 回土木史研究発表会，2011.6
- 23) 鈴木義晃：PC 今昔「我が国における PC の工業化」，プレストレスト・コンクリート建設業協会 PC プレス，vol.009, pp.30-31, 2016.6
- 24) 加藤芳衛：プレストレストコンクリート桁を使用した東京駅第 6，第 7 乗降場新設工事，セメント・コンクリート，プレストレストコンクリート特集号，No.77, pp.36-41, 1953.7
- 25) 田村浩一：大阪駅における日本最初のプレストレストコンクリート鉄道橋，セメント・コンクリート，プレストレストコンクリート特集号，No.77, pp.31-35, 1953.7
- 26) 菅原 操，浅沼久志：日本最初のプレストレストコンクリート不静定構造，セメント・コンクリート，No.89, pp.8-13, 1954.7
- 27) 仁杉 巖：支間 30m のプレストレストコンクリート鉄道橋 (信楽線第一大戸川橋梁) の設計，施工及びこれに関連して行った実験研究の報告，土木学会論文集，第 27 号，pp.1-56, 1955.7
- 28) 田原保二，猪股俊司，波田野義孝，牛島泰興：支間 40 m のプレストレストコンクリート道路橋 (福島県上松川橋) の設計，施工およびこれに関連して行った実験研究の報告，土木学会論文集，第 45 号，pp.1-68, 1957.5
- 29) 横道英雄：日本におけるコンクリート橋について，創立 40 周年記念・土木学会誌 39-12, pp.77-81, 1954.12
- 30) 上前行孝，長田裕：DYWIDAG 方式嵐山橋について，プレストレストコンクリート Vol. No.2, pp.5-12, 1959.4
- 31) 田中茂美：「日本プレストレストコンクリート協会」設立への提唱，セメント・コンクリート，プレストレストコンクリート特集号，No.77, pp.30, 1953.7
- 32) 坂 静雄：欧州のプレストレストコンクリート，プレストレストコンクリート Vol. No.1, pp.5-10, 1959.1
- 33) 吉田徳次郎他：日本におけるプレストレストコンクリートのルーツ PC 創世記を偲ぶ座談会記録，プレストレストコンクリート，Vol.20, No.1, pp.36-51, 1978.6

【2018 年 12 月 27 日受付】