

特集

これまでのPC構造物
をふり返って

これまでの PC 構造物をふり返って

猪 股 俊 司

PC が国内に紹介されたのはそれほど古いことではなく、第2次世界大戦の始まる2~3年前のことであったと記憶している。当時唯一の参考書はホイヤーの“Stahlsaiten-beton”（国内では鋼弦コンクリートと翻訳された）であった。土木方面では当時の鉄道大臣官房研究所（現国鉄鉄道技術研究所）の仁杉巖博士（現鉄建公団総裁）によってプレテンション PC 桁の試験研究が実施されていた。筆者は戦後、鉄道技術研究所にもどりコンクリート研究室配属となり、仁杉博士の厳しい指導のもと PC による鉄道まくら木代用品の開発研究に従事することとなった。

プレテンション PC 部材製造法、断面設計法等はすでに仁杉博士の研究により、ある程度明らかとなっていたが、残る問題はまくら木として使用する場合の疲労の点であった。筆者は昭和24年当初から44本のプレテンション PC 桁について繰返し回数200万回を標準とした疲労試験を実施し、設計・施工さえ適切であれば疲労による破壊は避けうるとの自信がえられ、PC まくら木を本格的に採用することが国鉄によって決定されたのである。

ポストテンション PC 桁の研究は、昭和25年頃国鉄東京工事事務所から東京駅プラットホーム桁に PC を採用する試験研究依頼があったことから始まったものである。当時長さ10mの桁をポストテンション方式で製造する技術は国内に全く紹介されておらず、わずかにマグネル、フレッシュ等の定着具が外国の文献によって知られていたにすぎなかった。マグネル定着具は鋼製クサビ形式のもので、国内で製作することが可能であったの

で、この定着具を用い、当時としては最も直径の太い5mmのピアノ線を2本ずつ組にして引張り、1個のクサビで定着した。この定着具を用い5.2mmの桁2本を製作、PC鋼線緊張定着、シー内グラウト注入等の作業面にある程度の自信を得、載荷試験によってポストテンション桁挙動の有益な資料も得られた。

この予備試験結果に力を得、ホーム桁を設計、4種類の断面形状を有する全長10.5mの桁9本製作、載荷試験を実施した。ひびわれが発生し、中央たわみが100mmをこえても、除荷すると残留たわみは勿論、ひびわれもまた肉眼ではほとんど認められなくなることに多くの見学者は驚嘆の声を発したものである。この結果、国鉄東京工事事務所はホーム桁として PC 桁の全面採用を決定し、約100本の桁も製造架設された。山陽新幹線開業とともにこの東京駅ホーム桁も撤去されることとなり、現在は完全に取りこわされた。この撤去された桁について国鉄は各種試験を実施し、20数年間の使用後もなお健全な状態にあったことを明らかとしている。

以上は筆者の従事した我が国 PC の揺籃期の状況であるが、昭和27年、極東鋼弦コンクリート振興株式会社がフレッシュのプレストレッシングに関する基本特許をもとに、フレッシュ工法による PC を国内で推進するに及んで、本格的 PC 構造物が次々と実現されるようになった。仁杉博士による大戸川橋梁は、スパン30mの鉄道橋として本格的 PC 橋の第一号である。続いて筆者の設計になる上松川橋梁（福島県）は、スパン40mの本格的道路橋の第一号であり、また直径7mmの PC 鋼線を採用した最初の橋であった。

その後フレッシュ工法以外の工法も国内に導入され、また国産工法も数多く開発され多くの PC 橋梁が建設されるようになったが、主としてスパン40m以下のプレキャスト単純支承構造のものがその主流であった。PC鋼棒を使用するディビダグ工法とともに片持梁架設工法が国内に紹介されると同時に PC 橋のスパンも飛躍的に増大するようになった。また PC 不静定構造物特有のプレストレッシングによる不静定モーメント計算法、コンクリートクリープによる発生不静定力算定法等、設計計算上の諸問題の解明とともに連続桁構造、ラーメン構造など複雑な不静定構造物にプレストレッシング技術が



Shunji INOMATA

(株)日本構造橋梁研究所副社長、工博

応用されるに至った。

PC 構造物の発展は設計技術の進歩は勿論、各種架設工法の発展によるところが大きい。初期にあってはプレキャストされた PC 桁を架設したのち格子構造桁橋とするのも最も普通であったが、この工法でもコンクリート橋架設に支保工を全く必要としない点で画期的な施工法であった。労働賃金の上昇とともに機械化による省力化施工法が一般化してきている。コンクリート構造物コストに占める労働コストと材料コストとの比はインフレーションおよび賃金上昇にもかかわらず、このところほとんど一定である。この理由は年間労働時間の減少によるものであって、施工現場の機械化、作業の合理化等によることは勿論、移動支保工架設、押出し架設、片持架設など同一単純作業の繰返しによる架設工法の発展にある。さらに現場打ちコンクリートによらず、プレキャストセグメントを採用することで施工速度を驚異的に上昇させ、工期短縮による労働時間節減が達成されている。

移動型枠架設工法にあって箱断面下床版をプレキャストスラブとし、架設装置にあって重量の大きい開閉式下床版型枠を省略することで架設トラス重量を軽減すると同時に装置のコストを大いに節減した例がヨーロッパにはある。片持梁架設工法は深い谷あるいは河川をスパン 100~260 m で渡る場合最も有効な施工法であり、国内でも広く用いられている。国内にあっては未だにスパン中央にヒンジを設ける構造形式がしばしば用いられているが、不測のコンクリートクリープ挙動によるヒンジ部たれ下がりの問題をおこしている。この種構造を採用する場合は将来万一たれ下がりを生じ橋面のオーバーレイを実施する場合の橋面荷重増に対応させるため、必要に応じ緊張材を挿入、付加プレストレスを与えることができるようダクトのみを最初の施工時に配置しておくことが望ましい。諸外国ではこの種ダクトを設計緊張材本数の 10% 程度最初から設けている例が多い。片持梁架設による場合、最近ではスパン中央ヒンジを避ける方向にあるのも諸外国の情勢である。

片持梁架設にあたってプレキャストセグメント利用はドイツを除くヨーロッパ、特にフランスでは盛んであるが、ドイツであまり利用されない理由は DIN-4227, Part 3 E の規準によるものである。現在改定中であるが、改定されると、引張区間最小圧縮応力は温度勾配効果を考慮した使用状態で 10 kg/cm^2 を要求し、さらに支点から両側桁高の 1/2 区間での最小圧縮応力は 15 kg/cm^2 と定められており、ドイツ以外の国で採用されている設計法に比して非常にきびしいものとなっている。したがってドイツではプレキャストセグメント利用による片持梁架設の利点はほとんど認められず、特別施工速度が要求

され、設計・施工にあってこの技術の特殊性が尊重される場合を除いて、その有利性はほとんどないこととなる。

押出し架設工法は、スパン 30~60m の範囲の橋梁に広く利用されるようになった。この工法の利点は労働時間の節減および設備への投下資本が比較的軽微なことである。しかし一方では移動支保工架設による上部構材料より増加することはすでに知られているところである。ヨーロッパでは橋梁架設工法として押出し架設工法が現在のところ最も有利とされている。

アーチ橋の最近の進歩は、橋梁分割施工法の非常に良い例となっている。古くは支保工またはアーチセントルを用いてアーチ橋は建設された。マイヤーによって設計された支保工システムは非常に有名である。第二次世界大戦後は労働コストが最大の関心事となったため、アーチ橋はあまり一般的でなくなった。ごく最近になって橋の区分施工技術の発展とともに再びアーチ橋がクローズアップされてきた。現在コンクリートアーチ橋スパンの世界記録は 1976~1979 年に完成されたユーゴスラビアのクルク橋のそれで、390 m に達している。架設は仮ステーを用いた片持架設工法によって施工された。断面は 3 室箱断面であるが、長さ 5 m のプレキャストセグメントに分割された目地は現場所打ちコンクリートである。

国内では未だ PC 橋には適用されてはいないが、ヨーロッパでは回転架設工法も一般的となってきている。すなわち河川に平行に接地式支保工上で橋梁の 1/2 をそれぞれ右岸左岸で造り、中間橋脚頂に設けられたピボットのまわりで回転させ、中央を結合する方法である。国内でも鋼橋架設に適用された例があるので、将来 PC 橋にも適用されうるものと考えられる。

設計面にあっても革新的な技術開発が進行している。構造物軽量化が設計にあたっての重要な問題となっている。コンクリート量を減少させ、自重断面力低下により与えるべきプレストレス力も減少させられ、経済化が達成される。この軽量化のための本質的問題はウェブの厚さである。ウェブ重量は部材断面自重の重要な部分を占めているので、ウェブを薄くすることが大切である。すなわち与えられた上部構幅員に対してウェブの数を減少させることも有利となる。このため幅員の大きい断面を 1 室箱断面で構成し大きい張出し床版に対して橋軸直角方向リブを設けたり、箱断面内外にストラットを設けたりしている。全幅 23.7 m の道路橋を 1 室箱桁で断面構成し、両側片持床版張出しを 8.85 m とした例がヨーロッパにはある。勿論 5.0 m 間隔で橋軸直角方向リブを設けている。

さらに箱断面ウェブを省略するため立体 3 角トラス構

造とし、板状のウェブを省略したクエートのプビアン橋はその典型的な例である。これによって従来の箱断面構造に比較して材料は約 30% 節減されている。この橋では緊張材をコンクリート断面中に配置せず、アウトケーブルとすることで現場の労働力節減に役立たせている。

斜張橋設計・施工技術の進歩とともに片持梁架設工法による PC 斜張橋も数多く完成し、世界スパン記録はスペインのルナ橋の中央径間 440m である。国内でも多くの PC 斜張橋が現在計画されており、今後長大径間 PC 橋はこの種斜張橋として設計・施工されるであろう。

PC 技術は橋梁方面から出発したが、その後は建築物にも広く使用され、特に重要な耐震設計方面での研究の進歩は世界的であるといえるであろう。また液体貯蔵容器としての水槽は勿論のこと、低温の LNG, LPG 用タンクにも PC が利用されるに至っている。昨年からは日本原子力発電株式会社敦賀発電所 2 号機原子炉格納容器としての PC 工事が開始された。外径 45.6m、高さ 65.6m であって、円形ドームを設け、従来のリングガーダーと偏平ドームとの組合せではない最新の形状を有したものである。原子力方面への PC の本格的応用として我が国での第一歩をふみ出したものとして注目にあたいする。さらに他電力会社にあっても PC 格納容器の計画があり、2, 3 年後には 3~4 基の PC 格納容器建設工事が開始されるものと期待される。この種大型容器の建設で得られた技術は将来の海洋構造物建造へ適用可能であり、北海に着底されている数多くの巨大な PC 海洋構造物に劣らぬ構造物を我が国の技術で建造することができるであろう。

国内でも海洋浮体構造物への適用について注目をあび、すでに浮防波堤、パージ等が完成しているが、さらにこの方面への研究開発が期待されている。

PC 概念は、当初フレッシュネーによって提唱された、コンクリートに引張応力を許さないコンクリートの概念から変化し、ある程度のコンクリート引張応力を許容する PC 概念に移行するとともに、さらにはひびわれ幅制御用鉄筋と併用するひびわれの制御された PC 概念へと発展している。すなわち液体貯蔵容器のように、使用時常に設計で考える断面力をうける構造物に適用されるコンクリート引張応力を許さないフルプレストレッシングから、従来の使用状態でひびわれ発生を許容している鉄筋コンクリートまでを一連の構造用コンクリートの概念の中におさめるため、パーシャルプレストレッシング概念が浮かんできたものである。

これは従来の決定論的許容応力設計法から、確率論に基礎をおく限界状態設計法へと設計概念が変化したこと

にも関係している。すなわち設計規準に定める公称設計荷重の作用する確率は小さいことが明らかとなったため、破壊に対する安全度はこの公称設計荷重をもととして検討される必要のあることは勿論であるが、使用状態での検討では作用する確率の小さい荷重作用に対してまで引張応力を許さないことは不必要に安全側であり、この荷重作用時には制御されたひびわれが発生してもよいとする設計概念へと変わってきている。さらに従来のフルプレストレス設計による断面の曲げ破壊安全度は過大に過ぎ、高価な PC 鋼材を有効に利用しているとはいえないことに対する反省もあるのである。

以上のような PC 概念の変化により、将来は PC と鉄筋コンクリートとは同一設計概念に統一され、鉄筋コンクリート部材に軸力を人為的に緊張材を用いて作用させ、すなわちプレストレッシングを実施し、構造物がその設計目的に合致する挙動を示すように設計することになるであろう。例えば従来の鉄筋コンクリートではひびわれ制御、たわみ制御等が困難であれば、緊張材を配置して部材断面に偏心軸力を作用させることによってこれらの制御を実施する設計が可能となる。

従来の鉄筋コンクリート概念がコンクリートと引張力を与えてない鋼材（鉄筋）とのパッシブな組合せから構成されているとすれば、引張力を与えた鋼材（緊張材）のみとコンクリートとのアクティブな組合せによってコンクリートに引張応力発生を防止したものがフルプレストレス PC であるといえる。したがって鋼材の一部をパッシブに、残りをアクティブに、コンクリートと組み合わせることが可能である。この組合せ度合は構造物の必要な挙動、経済性等に応じた最適値として決定されるものであろう。PC 設計概念は将来このような方向に進められると考えられ、部材に与えられるべきプレストレスの度合は非常に広範囲に変化するものとなるであろう。

PC 構造物での技術革新は誠に急速である。例えばアウトケーブル、アンボンド緊張材等世界的には一般化される傾向にある。しかしこれとて特別なものでなく、例えばアウトケーブルによるプレストレッシングは、斜張橋のステーとその力学的作用は全く同じものであり、桁にアウトケーブルを利用することが特に目新しいこととはいえないのである。

技術革新は常に競争原理から生まれると考えられ、現に諸外国での技術革新はこの原理から生まれた。しかし国内の諸条件は必ずしもこのような公正な競争原理を技術面に導入しうる状況にあるとは考えられないが、国際的であるためには常にこの点に思いをいたす必要がある。