

特集

将来のPC構造

## 将来のPC構造

池田 尚治\*

### 1. はじめに

最近におけるPC構造（プレストレストコンクリート構造）の進歩発展は著しいものがある。PC技術の関係者は新しいPC技術の習得に忙しく、また、PC工事もますます盛んに実施されていることから、PC構造に関する将来像を展望し、将来におけるPC技術の方向性を伺うことは極めて重要なことである。ここでは、未来の考え方、PC固有の特徴、最近のPC技術の傾向、将来のPC技術、およびFIPを中心としたPCの国際化、などについて述べ、将来のPC構造について展望することとする。

### 2. 将来と未来の基本

未来は現在と連続するものであり、それを予測するには過去から現在に至る状況を念頭に置きながら未知の未来を想像するより他に方法はない。この場合、現在におけるベクトルの方向が予測の重要な指標となる。また「未来」という言葉の持つ響きは明るく夢のあるものである。過去や現在の原因が結果として未来へと継がって行くので、まさにこれは因果関係そのものである。創造的、革新的なことがなければ未来は現在と変わらないし、想像もできない革新的な出来事が生ずれば未来は様変わりとなる。人間の行動には未来の枠組みが想定されており、これに対応する形で現在の行為の戦略が立てられ行動しているものと思われる。進化という言葉があるように、人間は未来に向かって進歩しており、この意味で

未来に希望を託しているのである。

過去に年代があるように未来にも年代を設定することができる。ただし単に未来を語るような場合には、例えば、明日、1週間後、1ヶ月後、1年後、5年後、10年後、20年後、50年後、100年後、およびそれ以降の10段階程度の年代の設定でよいものと思われる。この場合、1年後まではほぼ現在と同じであるので、未来としては5年後以降が真の未来ということになる。

将来のPC構造物を語るに際し上述の年代の分類を考えて、未来は5年後以降を考えるのが現実的であろう。

コンクリート構造物はセメントや骨材、混和材料、鉄筋、PC鋼材、および形鋼などから成り立っているため、これらの構成要素の未来における状況は当然のことながらコンクリート構造物の未来に大きな影響を与えるし、コンクリート技術そのものの技術的發展もコンクリート構造物の未来に大きく影響する。

工学的な生産物は、必ず人間社会の経済や文化、および労働事情などと相互に影響を与え合うことから、コンクリート構造物の未来も大きく社会の状況の変化に影響されることとなる。

以上のような「未来」に関する分析をした上で、ここではなるべく具体的に将来のPC構造について述べることにする。

なお、ついでながら、季節のサイクルは1年であるので、人間社会の中で約1年後までは現在の行動の中の時間に無意識に含まれている「現実的な未来」ではないかと思われる。

### 3. PC固有の特徴

ポルトランドセメントは1824年にアスプディングの発明によって誕生したものであり、コンクリート自体の歴史はまだ170年程度である。一方、PC技術は1880年代にアイデアが出されたが、実用化したのは1928年にフレッシュナーがこれに関する特許を取ってからであり、ほぼ70年近い歴史しか持っていない。

しかしながら、今でも立派に現存しているローマ時代の石造構造物はすでに2000年の歴史を有しており、コ



\* Shoji IKEDA  
横浜国立大学  
工学部建設学科  
教授

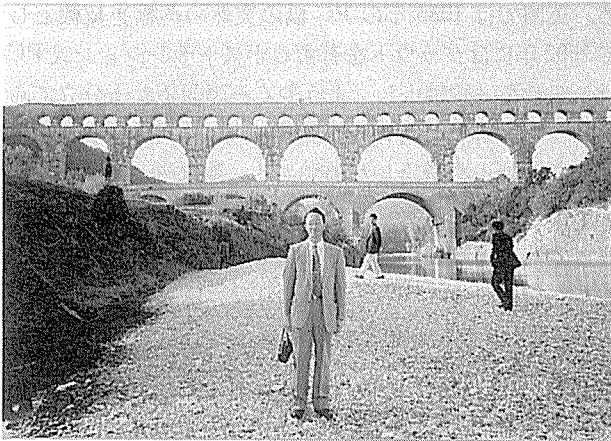


写真-1 南フランスにあるローマ時代の水道橋



写真-2 水道橋の天端

ンクリート構造物の歴史がいかに浅いものであるかが理解できる（写真-1, 2）。古代の石造アーチの技術はその当時すでに完成された技術であり、その後の変化はあまり見られないことも改めて認識すべきであると思われる。これに対し、コンクリート構造物の場合には、力学や材料学に裏付けられた技術であることが特徴である。

なぜローマ時代のアーチ橋が現存しているのかという理由は、アーチ橋を支えるアーチリブが全断面圧縮状態であってPCの用語で言えばフルプレストレスの状態になっており、何らかの理由で欠陥が断面内に生じてもひびわれなどによって進展することがないためと考えられる。一方、吊構造や梁では断面に欠陥が生ずるとこれが進展してついには断面全体の破壊へと進行するのである。

さて、PC構造はプレストレスによってちょうどアーチのリブの状態になっているのであるから、プレストレスの効果はまさにアーチ構造に匹敵する力学的有利性を持っていると言えよう。したがって、耐久性の観点から言ってもPC構造本来の耐久性は石造アーチに肩を並べ得る固有の特徴を有しているのである。もっとも、このためには必須の条件として緊張を与え続けられているPC鋼材の安定性と耐久性とが満たされていなければな

らない。

また、PC構造の大きな特徴のひとつに優れた力学的復元性を持っていることが掲げられる。設計で想定されていた力を大幅に超える外力が作用してコンクリートにひびわれが発生しても外力が除かれればひびわれは閉じ元の状態に戻ることができる。この場合、PC鋼材は一般に弾性範囲内で挙動するので塑性による残留ひずみは生じない。この点が鉄筋コンクリート構造と大いに異なる点である。この特徴を大いに生かして直下型地震等に対する耐震性を大幅に向上させようとする研究が現在進められているが、これに関しては後で詳しく述べることにする。

#### 4. 最近のPC技術の傾向

将来のPC構造を語る前提としてキーワード的に最近のPC構造物を概観することが必要である。

高流動化剤の出現はコンクリートの施工性を著しく改善し、現場での省力化に大きく寄与した。また、シリカフュームと高流動化剤との併用により圧縮強度が1000 kgf/cm<sup>2</sup>以上のコンクリートが出現した。

PC斜張橋の発展とともに外ケーブルによるプレストレス技術が登場し、PC構造物の設計施工に大きな変革をもたらされた。PC斜張橋の出現は、従来では鋼構造物の範疇にあった長大橋の分野にコンクリート構造が進出することとなり、スペインのルナ橋やノルウェイのスカルンズンド橋が完成した地点では、それぞれが鋼斜張橋を抜いて世界最長支間の斜張橋として登場したことは記憶に新しい。

スイスのガンター橋（写真-3）に始まった低塔式の斜張橋は我が国においてエクストラードズド橋として小田原港橋（小田原ブルーウェイ橋）に出現し、その合理性と美観とが高く評価されている。

PC斜張橋の分野では中央支間251mの十勝大橋、同260mの伊唐大橋が最近開通した。大型PC斜張橋

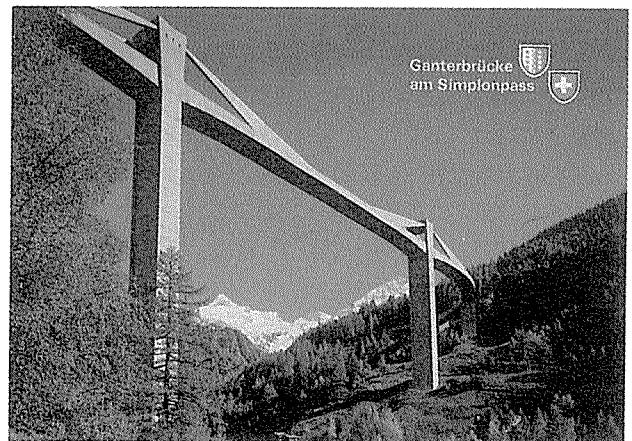


写真-3 ガンター橋（絵はがきより）

としての秩父公園橋の完成も記憶に新しい。

省力化、合理化の観点からの PC 構造物の発展は著しく、大規模なプレキャストセグメント PC 構造が欧米の橋梁建設に採用されてきた。米国キーウエストのセブンマイル橋、フランスのレ島橋などはこの工法と外ケーブルとを組み合わせて建設された海上の長大橋梁として知られている。我が国においても日本道路公団が四国の重信高架橋の建設にこの方式を採用することとなり現在工事が進められている。

プレストレストコンクリートは海洋における石油採掘貯蔵施設構造物にも用いられており、現在までの最大規模のものとしてノルウェーで完成したトロール (Troll) は全高 370 m、コンクリート量 23 万 m<sup>3</sup>、使用 PC 鋼材量 7 400 t の巨大な着底式 PC 海洋構造物がある (写真-4)。

複合構造としては、鋼波形ウェブを持つ複合 PC 橋として中央支間 80 m のドール橋がフランスで完成し、この構造の有利性が認識されるようになってきた。我が国でも新潟県の新開橋や秋田県の松ノ木 7 号橋 (銀山御幸橋) が建設され注目を集めている。

コンクリートに比べて軽量の鋼桁を支間中央の一部に用いたフランスのノルマンディ橋は、中央支間 856 m のうち 624 m を鋼桁とし、他をコンクリート構造として世界最大の斜張橋となった複合橋梁である。

一方、プレストレストコンクリートは上に述べたような順風満帆と言える発展とは対照的にその耐久性に関する問題点が一部の構造物で見られるようになってきた。すなわち、グラウトの施工不良による PC 鋼材の破断事故がわずかではあるが顕在化してきたのである。このた

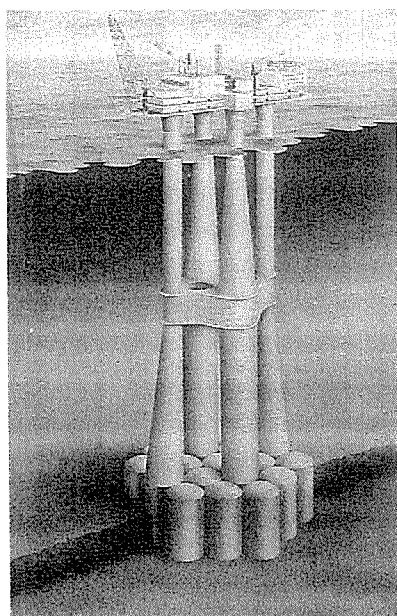


写真-4 トロール (FIP Notes 1994/2 より)

め、英国では 1985 年の PC 橋の突然の落橋を契機として 1992 年にはグラウトを有するポストテンション式 PC 橋の新設を一時禁止し、ようやくその対策が十分立てられたことで今年 9 月の FIP ロンドンシンポジウムの際にその禁止を解除したのである。耐久性の問題は PC 構造物に限ったことではなく鋼構造物にも見られるが、良質の社会資産の建設のためには耐久性に対して十分な対策が望まれる。PC グラウトの設計施工方法の改善や PC 鋼材のエポキシ樹脂被覆塗装などの対策がすでに提案され実施に移されている。後付着 PC 鋼材 (開発名:アフターボンド) や中空 PC 鋼棒なども開発され注目されている。

設計法の変革として許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行されつつあり、一部の土木構造物の設計にその概念が導入され始めた。欧州統合による Eurocode (欧州構造規準) の登場や国際単位系である SI 単位への移行は構造設計規準の国際化を促進させていると思われる。

さて、ここで若干未来の時間軸に入るが、今後 5 年間で姿を表わす構造物について触れてみよう。

5 年後に出現するコンクリート構造物は、現在計画、設計あるいは施工されている構造物であるからその姿は相当に確定的なものと言えよう。5 年前に描かれていた設計図やパースが現在その姿を現わしていることを思い起こせばよいのである。5 年後には世界最大支間を誇り巨大なコンクリート基礎を持つ明石海峡大橋や世界最大支間の斜張橋となる複合形式の多々羅大橋も完成し供用している時期である。これらの完成と同時にこれらのアプローチ部分の PC 構造物も続々と完成することとなる。東京湾横断道路プロジェクトの工事も終了し我が国におけるこれらの大プロジェクトの建設の成果が大きく評価され、21 世紀のスタートが切られることとなる。ヨーロッパでは、巨大プレキャストセグメントを用いたデンマークのグレートベルト橋がすでに開通しているはずであり北欧の新しい交通網の整備が大きく進むものと思われる。米国においても軍需産業へ向けられていた予算が公共投資に振り向けられ、橋梁等のコンクリート構造物の建設が大いに盛んになっているものと思われる。

カナダで建設中の全長 13 km、支間 250 m の多径間 PC 橋であるノーサンバーランド橋も当然供用中のはずである。

## 5. 将来の PC 技術

PC 技術は主として橋梁などの水平部材に用いられてきた。これは重力に対して有効にプレストレスを導入して抵抗させるからである。このため PC 技術を柱の軸方向に用いることはほとんど皆無であった。本来、柱には

鉛直方向に重力が作用しているので、さらにこれにプレストレスを与える必要は全くないと考えるのは当然である。しかしながら兵庫県南部地震（1995年1月17日）の場合のような直下型地震では地盤の加速度がほぼ重力の加速度に匹敵する大きさであり、これに振動による応答の増幅を考えると、重力の加速度の2倍もの力が水平に作用するのであり、もはや柱は梁部材と同様に大きな曲げモーメントとせん断力とに抵抗する必要のあることが明らかとなったのである。これにはプレストレスの導入が極めて効果的なのである。その原理はすでに3.で述べたとおりであり、現在、当技術協会において鋭意この研究を開始したところである。従来はPC部材は正負繰返しし載荷時にヒステリシスがわずかであるため地震時のエネルギー吸収に対して不利であるとされてきたが、PC鋼材が弾性範囲内で部材としての非線形性の挙動を持っているので動的応答にも有利なのである。このことについてはすでに実験によって確かめられている。地震時の安全性と震後の供用性を考えるとここで述べたようなPC柱あるいはPC橋脚の出現が将来大いに期待できると考えられる。

さて、現在設計が進められている木曾三川橋（第二名神高速道路）では一部に鋼桁を利用したエクストラード複合多径間橋の形式で支間を275mとする案が鋭意検討されている。大々的にプレキャストセグメント化と外ケーブル技術を活用するこの複合橋梁は今後世界の注目を集めると考えられる。また、ウェブに鋼トラス部材や鋼波形板を持つ大規模な橋梁も計画が進められている。将来の合理的なPC構造としてはこのような複合構造が大きく開発および発展していくと思われる。

さて、現在、高強度コンクリートに対する関心が高まっており、この方面の開発が大いに進められている。コンクリートの高強度化が進めばそれとともに耐久性も改善されると同時に、構造全体の軽量化を図ることができる。ただし、高強度コンクリートを造るには良質の骨材の入手が必須の条件である。一般的に言って、圧縮強度が600 kgf/cm<sup>2</sup>程度までは通常の骨材を用いても得られやすいので、この辺が高強度の目安になるものと思われる。圧縮強度が1000 kgf/cm<sup>2</sup>程度のコンクリートの製造には骨材の産地やその輸送方法が問題となるので地域による影響が大きいものと思われる。

高性能な人工軽量骨材もぼつぼつ出現しつつあり、その活用方法を真剣に検討することが求められる。高強度コンクリートと並んで高強度鉄筋も出現してきた。今後

は、高強度鉄筋と高強度コンクリートとを用いたPPC（パーシャルプレストレストコンクリート）構造物の合理的活用が図られるものと思われる。

なお、コンクリートの発展にとって混和剤の発展の寄与は極めて大きかったが今後もこれを大いに期待できるものと思われる。混和剤の使用法やコンクリートの練りませ方法あるいは養生方法などの技術も高度化し、グラウト工も含めたコンクリート技術が現在の初等的な技能から高度に専門化されたプロフェッショナルな技術に変貌することが十分に考えられる。

PC技術が今後とも大きく発展するには、現在施工中のPC構造物が十分耐久で安全なものとなるようにシステム化された建設技術が必要である。PC構造物の普及に伴って何よりも重要なのは設計図書や施工経過および維持管理データの集積である。大容量の記憶装置に必要なデータを保存し、将来の維持管理に活用できるようにすることが重要である。

## 6. PC技術の国際化

PC技術協会はFIPのナショナルグループの一員として国際的な活動を行っている。FIPは1997年3月に南アフリカ共和国のヨハネスブルグでシンポジウムを開催し、翌1998年には5月にオランダのアムステルダムで大会を開催する。ただし、現在の予定ではFIPはここでCEB（ヨーロッパコンクリート委員会）と統合し、FIB（Federation Internationale du Beton）へと発展する。統合なったFIBの第一回大会はヨーロッパ以外の国で開催されるべきだとの声が強いため、日本での開催を呼びかけているところである。このことは我が国のPC技術の国際化に大きく貢献するものと思われる。

## 7. おわりに

将来のPC構造を展望すれば、一つはPC技術の普及でありその例が橋脚へのPCの適用だと思われる。また、社会資本の整備に向けた大型構造物に関しては複合化、高性能材料の活用および大型プレキャスト化であると思われる。

将来のPC構造物の維持管理を考えた場合必要データのコンピューターによる大容量記録化とその容易なアクセスの技術が当然必要であろう。インターネット等による技術データの交流も本格化するものと思われる。

【1996年10月27日受付】