

◆ 特 集 ◆

21世紀のPC技術

21世紀のPC技術の役割と期待

池田 尚治*

1. はじめに

21世紀を迎え気持ちを新たにしたとき、世界のコンクリート技術の最新の情報がfib（国際構造コンクリート連合）の第1回コンGRESSに向けて準備され、2002年10月に大阪においてわが国のコンクリート技術者、研究者がこの国際会議を主催することは、誠に意義が深いと言える。21世紀におけるPC技術の役割と期待は恐らくこの国際会議の中心的な課題として熱く議論されるはずである。なぜならこのコンGRESSのテーマは“Concrete Structures in the 21st Century”だからであり、世界各国からの参加者も相当な意気込みをもって来日することが考えられる。

20世紀における人工環境の造形はコンクリートと鉄鋼がその主要な役割を果たしてきた。19世紀は鋳鉄と錬鉄による橋梁の建設の中で鋼が誕生し、フォース鉄道橋のような巨大な橋梁が登場した世紀でもあった。また、石造のアーチ橋や建物に代わって鉄筋コンクリート構造が登場してきたのも19世紀であった。

プレストレストコンクリートは20世紀の前半に実用化され、20世紀の終わりには鋼構造物に匹敵する構造にまで発展してきた。21世紀の100年間におけるプレストレストコンクリートの展開を予測することは容易でないが、19世紀から20世紀にかけての構造物の発展の経緯に照らして考えれば、多少なりともその概要の一部は思い描くことが可能なものと思われる。

そこで、ここでは古代文明にまで遡って構造物のルーツを探り、そのうえで21世紀のPC技術の役割と期待について述べることにする。

2. PC技術のルーツと発展

人類は古代から広い意味でのプレストレスを構造物に活用してきた。古代エジプトのルクソール神殿等の巨大な石造の柱列構造や古代ギリシャのパルテノン神殿の大理石による柱列式構築物等は、柱によって人工空間が構成されたが、これらの柱には圧縮力が作用しており、この圧縮力に

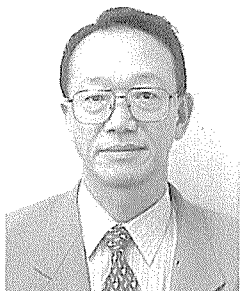
よって安定した構造となっていたのである。もし、圧縮力が作用していなければ、僅かな水平力や曲げモーメントに対して柱はその継目部で力を伝達することができないのである。もちろん、この圧縮力は重力によるものであって、柱に鉛直方向のプレストレスが自重によって作用していることにより構造系が歴史的な期間にわたって成り立っているのである。

石造の柱列構造では、柱と柱の間には石造の梁によって支間をとることとなるが、石材は曲げに対して安定した強度を発揮できないことから、その支間も自ら限定されたものであった。柱と柱の間の支間を大きくとれるようになったのは恐らくローマ時代以降であり、石造のアーチ形式によって大きな支間を構成できるようになった。アーチは自重によって圧縮力がアーチリブの軸方向に生ずることによりプレストレスが導入される。石材ブロックをアーチ状に並べ、自重が作用すれば両端からの水平反力の助けにより軸線に沿った圧縮力が生ずることとなり、独立した石材ブロックが連続したアーチリブとして構造系を形成するのである。ローマ時代から18世紀に至るまで石造アーチ橋が広く用いられてきた背景には、このアーチ軸線に沿ったプレストレスが活用されてきたことによる。

19世紀になって鉄筋コンクリートが発明されると、引張力に強い鉄筋によって梁の引張側の張力を負担させることとなったが、この場合にはアーチのように外部からの水平反力を必要としないことが大きな進歩と言える。ある意味では、鉄筋コンクリートはタイドアーチと同類の構造と見なすことができるが、プレストレスがなくとも構造系が成り立つ構造という点で特筆すべき構造形式と言える。しかしながら、鉄筋コンクリート梁はプレストレスがないためにコンクリートにひび割れが生じる宿命にある。そこで登場したのがプレストレストコンクリート構造であり、鉄筋コンクリートと同様に外部からの水平反力を必要とせず、かつ、PC鋼材による緊張と定着の結果、石造のアーチ橋のアーチリブのように梁の全断面に圧縮力を導入できる画期的な構造形式として誕生したのである。

プレストレストコンクリート梁は言わば水平なアーチリブをもつアーチと考えることができる。事実、アーチ橋ではないが、石材ブロックを僅かなキャンバーをつけて並べ両端部からの水平反力によるほぼ水平なアーチ構造が、フランスのノルマンディ地方のモンサンミッシェル寺院の中の石造物に見ることができた。これはまさに現在盛んに用いられているプレキャストセグメント構造と同等の構造であり、主な違いはPC鋼材を用いていないことである。

以上のように、石造構造物を対象としてプレストレストコンクリートのルーツを探ってみると、プレストレスの効



* Shoji IKEDA

本協会理事、元会長
横浜国立大学
工学部建設学科 教授

果が古代から無意識のうちに活用されてきたことが理解できる。従来のプレストレスは重力による導入であったが、近代のそれはPC鋼材によるプレストレス力の導入に進化したものと考えることができよう。

3. 21世紀におけるPC技術の役割

古代の構造物で現存するものはモニュメントや文化遺産として価値のあるものがほとんどで、現在の社会で実用的な意味で用いられているものは極めて僅かであろう。一方、中世以降の構造物は依然として活用されているものも多く、とくに19世紀に建設された構造物は十分現代の使用に耐えているものも多い。英国のフォース鉄道橋や米国のブルックリン橋などがその例である。21世紀におけるPC構造物を考える場合、PC構造物の耐久性と維持管理の手法がまず念頭に置かれなければならない事柄と思われる。プレストレスを重力によって自然に導入してきた過去の石造構造物と異なり、PC鋼材による現代のPC構造物はPC鋼材の耐久性に大きく依存することは明らかである。

また、コンクリート自体も乾湿の繰返しやアルカリ骨材反応などによって長期間経過後には劣化してくる場合がある。構造物の耐久性の問題は鋼構造物でも同じく主要な課題である。

今、紀元前の石造構造物を修復する場合にPC技術を用いることをまず考えてみよう。石材に孔をあけ、PC鋼材を入れて緊張してからグラウトをする方式は適用可能であろうか。答えは否であろう。なぜならモニュメント構造物は、今後1000年以上あるいはほぼ永遠に存在させなければならないからである。もし、このようなモニュメントの修復にPC技術を用いるのであれば、チタンによる緊張材を用い、低アルカリの無機系グラウトを注入する方法を検討することが必要なのである。

一方、小規模な橋梁の建設にPC技術を適用する場合には、チタンによる緊張材は恐らく用いる必要はないものと思われる。

以上のように、構造物の必要な耐久性はその規模や構造物のもつ特性によって大きく異なるものなのである。

そこで、21世紀のPC技術を考えるとき、予測される環境条件に対して定量的に耐久性能と維持管理性能に関してランクを設け、それぞれのランクに対応したメニューを用意することが必要と思われる。19世紀に造られた大型橋梁の今日の姿を見ると、PC構造物も200年程度の寿命をターゲットとした技術をメニューの一つとして提案することが必要と思われる。ちなみに、アテネのパルテノン神殿の修復工事には柱の接合にチタンと鉛が用いられており、過去に鉄筋コンクリートで修復した部分は撤去しつつあった。

すべての社会資本構造物が高耐久性を要求されるとは限らないことも認識する必要がある。機能の陳腐化や社会の変化によって、土木構造物の多くはそれほど永い寿命を要

求されるものではないと思われる。この場合には、むしろ撤去の容易な構造やリサイクルの容易な構造が有利なのである。PC鋼材による緊張の大きな特色は部材に連続性を与えることであり、プレキャストセグメント工法のようにセグメントを連結して長大な構造を構成することができるのである。このことはまた、この過程を逆に用いることによって撤去が容易となり得るし、リサイクルにも適した構造とすることも可能である。

21世紀におけるPC技術には、PC構造の軽快で自由な造形によって美しい国土の建設に大いに寄与することが期待されるとともに、地震等の災害に対して安全な人工環境の構築にPC技術は欠かせないものである。

コンクリートの高性能化、各種緊張材の開発、鋼材との複合化などにより、一段と信頼性の高い構造物をPC技術によって追求していくことが肝要である。高強度鉄筋と併用したPC橋脚の今後の技術的な展開も期待される。高性能軽量コンクリートをPC技術の中に活用することも今後の課題である。

以上に述べたことを著者が本誌 Vol.41, No.6, 1999 の「総論」中に示した表(PC技術の推移)に付け加えたものが、表-1である。

表-1 PC技術の推移

時代	年号	PC技術	備考
第0紀	紀元前～	石造柱列構造	柱の鉛直方向に重力によるプレストレス
第1紀	紀元前～	石造アーチ構造	アーチリブ軸線方向のプレストレスの利用
第2紀	1850年～	鉄筋コンクリート構造	プレストレスなしの架構
第3紀	第1世代 1886年～	PC特許	1886年 Jackson 特許 1888年 Döhning 特許
	第2世代 1928年～	PC実用化特許	1928年 Freyssinet 特許
	第3世代 1990年頃～	PCの拡大発展	パーシャルプレストレス複合PC構造 エクストラドロード橋 情報化施工
	第4世代 2010年頃～	次世代PC技術	超高性能高品質PC リサイクル、改築容易なPC

4. おわりに

21世紀の後半になれば、すでにわれわれの世代ではないが、われわれが造ったPC構造はその時代に責任を果たさなければならないし、われわれの現在の技術開発や研究の成果は21世紀を通じて有用になり得るものである。構造技術者の基本的なフレームワークは経済性と合理性であり、これに基づいた機能性や安全性の目標の達成が責務である。しかしながら、社会に長期間インパクトを与える人工環境の構成要素をデザインする場合、このフレームワークに埋没することは決して良いことではない。思考と創造、造形と人間性を発揮して21世紀のPC技術が発展することを期待したい。

【2000年12月4日受付】