

次世代のPC技術について

池田 尚治*

1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) の分野に日常接しながらPCの発展なり研究なりに関し、PCの将来のことを種々思い巡らせている状況のもとで、改めて次世代のPC技術について考えをまとめることは意義深いことと思われる。ただし、考えをまとめられたときにはじめて意義のあることであって、次世代を未来予測することなど容易にできるはずはないので、PC技術への今後の期待を中心に考えを述べることとしたい。

2. 課題の背景

2.1 次世代の意味

次世代とはわれわれの次の世代、あるいは21世紀における世代とも考えられるが、これは人間本位の考え方である。一方、次世代コンピューター、次世代ロボットと言われるような次世代とは技術の進歩に対応した概念であって極めて革新的な技術開発によって根底から技術のシステムが変貌する場合に用いられる概念であると思われる。次世代PC技術と言えば、やはりPC技術の根底から変貌する革新的な技術であると考えべきであろう。

一般に次世代の技術を想定する場合、その技術の発展の方向がある程度見えていて、それに到達するために必要なブレイクスルーとしての技術開発や発明などが待たれていることが多いものと思われる。現世代では到達することのできない基本的な問題の要素があって、これを解決することが未来に可能となることを期待してそれを組み込んだシステムを次世代の技術として位置づけているものと考えられる。すなわち、次世代の技術とは相当にはっきりと思いが描かれたターゲットと考えるのが妥当であろう。コンピューターの場合には記憶容量や演算速度が桁違いに発展しているが、一方、PC技術は実体的な等身大の技術が中心であるから基本的な点で桁違いの進歩はほとんど不可能である。しかしながらPC技術にとって、たとえば材料強度が現在の3倍程度になることが現世代で困難と思われるなら、

これを達成した時点で次世代の技術が始まると考えることもできる。このように考えるならばPC技術にとっての次世代とは現時点で解決が困難な点を克服することによって得られるブレイクスルーを用いて求められる明確なターゲットとして想定されるPC技術であるものと思われる。この場合、必ずしも奇想天外なものである必要はなく、着実な技術進歩をターゲットとすることが重要と思われる。PCで飛行機を造ることなどは考えなくてもよいのである。

2.2 次世代PC技術として求められるもの

PC技術はその根幹に経済性がある。社会基盤を構成する構造物として採用されるには、他の技術よりも経済的に優れていることが大きな条件となる。このためにはコンクリート構造物にとっての欠点あるいは不利な点を克服する技術開発が必要となる。すなわち、軽量化、高強度化、高耐久化、および維持管理のシステム化などが挙げられる。また、コンクリートの品質管理の徹底化によるコンクリート構造物の信頼度の向上なども重要な事柄である。炭素繊維に代表されるような新素材の登場やその活用方法も技術開発の手段として考えられよう。また、PC技術が特殊技術として長大支間の橋梁などに用いられるだけでなく、もっと一般の構造物、たとえば家屋などにも普及することも次世代技術のターゲットになり得るものと思われる。

一方、PC技術に関する説明性(アカウンタビリティ)を確立することも重要である。ソフトウェアの進歩によってPC構造物の挙動は今後一層明確に記述されることになるので、供用性や安全性に関するアカウンタビリティに裏づけられた技術として社会から評価されることも求められよう。また、PC技術を一般市民や一般の学生に分かりやすく教育し、PC技術を啓蒙することも重要である。

以上に述べたことは新設されるPC構造物を頭に描いて述べたものであるが、過去に造られたPC構造物を劣化から救い、リニューアルをする技術を開発すればこれも次世代のPC技術として世界的に評価されるものと思われる。

PC構造物に用いられる材料が次世代材料として登場してくれば、結果としてそれを活用するPC技術が誕生することになるが、むしろここではターゲットとして次世代PC技術を設定し、これを開発の目標として次世代材料が誕生するように考えることが能動的な発想であると考えられる。

2.3 次世代PC技術の技術要素

次世代PC技術を支える新しい技術開発として、要望される基礎技術を思い浮かべると次のようなものがある。

- ① 形状記憶型補強材の開発
- ② 超高性能コンクリートの開発
- ③ 超高強度緊張材の開発
- ④ 超耐久的緊張材の開発



* Shoji IKEDA

本協会理事
横浜国立大学
工学部 建設学科 教授

- ⑤ インテリジェント PC 技術および高機能 PC 技術の開発
- ⑥ 力学教育型 PC 技術の開発
- ⑦ リサイクル PC 技術の開発
- ⑧ 環境低負荷型 PC 技術の開発

以下にこれらの事柄について若干の説明を加える。

① の形状記憶型の緊張材あるいは補強材が開発されれば、コンクリートには常に圧縮力が容易に導入されるためコンクリートのひび割れ問題が大幅に改善され合理的な構造物を設計することが可能となる。鉄筋や鋼繊維に形状記憶合金を適用することができればそれ自身でプレストレスの導入が可能となり、その効果は極めて大きいものと考えられる。

② の超高性能コンクリートの開発に関しては、強度、じん性、軽量化、および耐久性などが対象となる。

③ は超高張力鋼材の開発や超高張力の新素材の開発により、革新的な PC 構造物の誕生が期待できる。当然、前項の超高性能コンクリートとの組合せが必須である。

④ の超耐久的緊張材の開発により、現在抱えている PC 鋼材の腐食劣化の問題が解決される。

⑤ のインテリジェント PC 技術とはセンサーとの組合せで PC 構造物の応力状態や力学的挙動が、維持管理センターに報告されたり、時々刻々の供用性能が記録されたりする技術のことである。

⑥ の力学教育型 PC 技術とは、PC 構造物の力学的メカニズムを利用者が理解できるようにし、市民が重力場のもとで種々の自然現象を体感し、力学の世界をエンジョイできるような教育的、示唆的機能を表現できる技術のことである。たとえばプロネ橋（フランス）のような複合トラス PC 橋では PC ケーブルがトラス内に見えており、トラス構造と PC ケーブルとの役割を側面から見るができる。現在のように構造技術者とその利用者である市民との間に交流がないことは決して両者にとって幸せなことではない。

⑦ と⑧ とは、ともに環境問題に関連した技術であって今後の技術に決定的な影響を及ぼすことが考えられる。

3. 次世代 PC 構造技術の展望

次世代 PC 構造技術の展望にあたっては、過去から現在までの PC 構造の世代の移り変わりを眺めることも興味深いことである。PC は 1880 年代にジャクソンとデーリングがそれぞれ独立して特許を得たことから始まったが、使用材料の強度や性能が十分に高くなかったために実用化するには至らなかった。これ以前に PC の考え方がまったくなかったかという点必ずしもそうではないようである。石造のアーチ橋はアーチリブにプレストレスが自重によって導入されることから、PC の原点はむしろ古代の石造アーチ橋に求めることができよう。しかも石材を石切場でブロックにして運搬し、これを継いで強固なアーチリブを形成するのであるからプレキャストセグメント工法の原点であるとも言える。このアーチリブをほとんど水平にして両端をしっかりと拘束すれば、水平なアーチリブすなわちプレストレスされた梁を構築することができる。著者はこのような構造をフランスのノルマンディ地方にある中世に造られたモンサ

ンミッシェル寺院の中で見つけることができた。この場合のプレストレスの導入は石材を支保工上に並べた後に支保工を撤去することによって行われたはずである。それぞれの石材ブロックにはシャキーがついており、せん断力に対しても配慮されていることは、先人の優れた技術力を示すものである。

以上に述べた石造アーチ構造は第 1 紀の PC 構造物と言えるものと考えられる。

次に登場したのがプレストレスなしで架構のできる構造、すなわち鉄筋コンクリート構造である。アーチ構造のように両端部からの固定水平反力が不要なことは画期的なことであり、これを第 2 紀の PC 構造とも位置づけられよう。これに伴って鉄骨鉄筋コンクリートや鋼コンクリート合成構造も登場してきた。

このように考えてみると現代の PC 構造は第 3 紀の構造であると位置づけられる。1880 年代に PC に関する特許が出てから 1928 年にフレシーネの特許が出るまでの間を第 3 紀における第 1 世代とするならば、プレストレス技術の第 2 世代はどこまでと考えられるだろうか。フレシーネはすでにマルヌ川の橋梁架設でプレキャストセグメント工法を全面的に採用しているの、現在わが国でようやく普及してきたプレキャストセグメント工法は当然第 2 世代に属している。外ケーブルについてもドイツでは当初から用いているので、これも第 2 世代に含められよう。

ここであえて第 3 世代の PC 技術として分類するならば、ひび割れ幅制御を基本とするパーシャルプレストレスの登場、波形鋼板ウェブや鋼トラス材を用いた複合構造の登場、およびエクストラドロード橋の登場、などの始まった 1990 年頃から現在の世代として位置づけられよう。コンピューターの活用による CG や情報化施工もこの世代に発展した技術である。したがって次世代 PC 構造物を展望するに際しては、PC としての第 4 世代を想定すればよいものと思われる。第 3 世代である現代は恐らくこれから 10 年は少なくとも続くと思われるので、第 4 世代 PC 技術は西暦 2010 年頃から登場するものとして頭に描けばよいのである。

第 4 世代 PC 技術を支える技術は前章の 2.3 に列挙した事柄が中心と思われる。そこで、これらを念頭に置き、2010 年頃の時代背景を考えるならば、PC が省資源、かつ省エネルギーの構造形式としての認識が確立し、使用材の一層の向上、あるいは革新的な進歩が図られるものと思われる。コンクリートの欠点の一つは重量が大きいことであるが、高強度化すれば断面寸法を小さくでき、結果的に部材重量を低減することが可能である。しかしながら、部材の厚さや断面剛性の大きさも必要であるのでコンクリート強度のみを増加させるだけでは片手落ちとなる。また、圧縮強度のみが増加しても引張強度が増加し、かつ、伸び能力が増加しない限り脆性的となって問題が生ずる。これを解決するものとして比重の小さい人工軽量骨材の性能を一層改善した高強度軽量コンクリートが登場してくるものと期待している。材料のじん性向上には適切に繊維を混入すればよい。コンクリートは厳重な品質管理のもとで製造され、品質の信頼性は鋼材に劣らないようになる。このようなコン

クリートを用いることにより長大PC吊橋や大型浮体PC構造物も誕生すると思われる。

PC水中トンネルやPC浮橋の建設も容易になるものと思われる。免震装置との併用でPC個人住宅やPC高層建物も多く造られることが期待される。

また、大規模な多層人工大地をPCによって造り、環境問題を解決することが望まれる²⁾。

市民がPC構造の力学を哲学として理解し、重力場での生活を体感しながらPC技術に支えられた生活をエンジョイするようになることも第4世代のPCに課せられた目標である。軽快なPC構造物の景観はこのような背景のもとで一層好まれるものと思われる。

柱や橋脚にはプレストレスが全面的に導入されていて耐震性や地震後の供用性能が確保され、大地震に対する恐怖もPC技術によって大幅に解決されることを望みたい。

超高強度鉄筋とプレストレスの併用による合理的な構造もパーシャルプレストレスの延長として現世代中に受け入れられるものと思われるので、次世代にはPCの主流として活躍することも考えられる。

鋼コンクリート複合構造や混合構造にもPC技術が一層発展していくものと思われる。表-1にこれまで述べたPC技術の世代的な推移を示す。

表-1 PC技術の推移

時代	年号	PC技術	備考
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 Dohring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 エクストラードズド橋 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

以上に述べたPCの次世代技術はすべてバラ色のものであるが、このようになるためには緊張材の耐久性の確保が第一に重要である。それに加え、現在までに建設されてきたPC構造物が適切に維持管理され、落橋や重大な損傷が発生しないようにすることが必須である。

PCを含めたコンクリート構造に関する技術には内在する本質的な研究課題が多いので、今後PC技術が社会に貢献するために、また次世代の社会基盤を支えるためにも本格的なコンクリートに関する研究所を設立することが必要である。

4. 次世代の社会

人間を中心とした次世代の中でPC技術の役割を考えてみたい。現在は情報に関する技術が急速に発展しており、情報が社会をリードするような状況になってきた。情報は瞬時に世界中に拡がり、またその情報は急速に過去のものとして消えていく。つまり情報はますます軽くなっていき、拡がった情報はその瞬間から価値がなくなる。一方、PC技術のようなハードな情報は決して瞬時に拡がることはなく一部の専門家のうちだけに限定して伝えられる。また、社会基盤としてのPC構造物はいつまでも供用され、時代を超えてその価値を発揮するのである。2000年前のローマ時代のアーチ橋であるポンデュガルは今でもその上を渡ることができ、2000年前のローマ時代の技術の情報を伝えてくれる。

次世代の社会では恐らくほとんどの情報は「共有」のものとなり、国全体あるいは地球全体がコロニーのような状態になるものと思われる。その中でPC技術に関する情報を積極的に社会に発信し、社会の中に地歩を築くことによって社会に貢献することが望まれる。トラブルが生じたときだけ情報が瞬時に流れて非難されるようなことがないよう、日頃からPC技術の情報を発信しながら耐久的なPC構造物を時代を超えて供用し、重い情報として伝えたいものである。

5. おわりに

次世代PC技術と題する課題を賜り、勇んで種々考えた結果をまとめてみたが、PCに関する現世代を第3紀の第3世代と定義するようなことは本執筆中に思い浮かんだ考えであって、決して前から考えていたことではない。その意味で執筆依頼を企画された本誌の編集委員会に感謝の意を表したい。本文は著者の私見そのものであるが、不透明な現代社会の中で次世代のことを模索することは価値あることと思われるので、本文がその場合の議論の叩き台になることができれば誠に幸いである。

PCで家具ができたり、PCで大型フェリーができたり等々、PC技術の応用範囲はいろいろの分野に拡がる可能性が十分あるので、その方面での発展も楽しみである。

参考文献

- 1) 池田：プレレストコンクリートの発展と技術開発，第27回PC技術講習会「PC構造物の耐震設計の現状」，pp.1～34，1999.2
- 2) 池田：人工物の時代，コンクリート工学，Vol.37，No.3，pp.1～2，1999.3

【1999年9月24日受付】