

PC 技術への期待と展望

池田 尚治*

1. はじめに

現在は 2006 年 9 月で、社会環境としては昨年(2005 年) 10 月の道路関係公団の民営化および現在郵政の民営化が実施中であり、小泉内閣の任期終了の時期となっている。構造改革の名のもとに公共事業が縮小され、また、鋼橋の談合問題の余韻や低価格入札による過当競争の嵐の中で PC 建設業界は苦悩を深めているような状況である。海外ではイラクにおける連日の自爆テロや原理主義によるテロ活動が続く一方、中国や中近東での経済活動はきわめて盛んである。わが国の建設業界は国内から国外へと活路を見出そうとしているところもあるが、合併による合理化も進められている。このような社会環境のなかで情報関連の技術発展は目覚しく、これが社会のあらゆる分野に浸透し大きな変革をもたらしている。建設技術も情報技術の恩恵を大きく受けて発展しているが、業務の合理化に寄与することが多く、就業の需要を低減する効果が際立っている。PC 技術を取り巻くこのような大きな流れの中で PC 技術の役割はややもすると小さく見える雰囲気になりがちであるが、一方、社会基盤の長期にわたる投資効果と社会の快適性や生活の向上、防災に対する本質的な寄与、PC 技術の発展による経済合理性の向上などを考えると PC 技術の意義は確固たるものであることを改めて認識しなければならないのである。

1928 年のフレッシュナーの PC に関する特許以来、世界中の重要な社会基盤として橋梁をはじめ各種の構造物に PC 技術が適用され、これまでに膨大な社会ストックとして社会の発展に貢献し続けている実績に誇りと責任をもち、自信をもってこれからの PC 技術の発展に寄与することが重要である。逆境の経済状態の中で価値観もつねに変動しているが、人間社会は人工環境の中でのみ存続可能であることを強く認識して PC 技術がその一翼を担うよう努力をすれば必ずや道は開けるものと思われる。

前置きがやや長くなったが、本文は以上に述べた状況を

念頭に置いて今後の PC 技術への期待と展望について述べることとする。

2. コンクリートへの期待

著者は(社)日本コンクリート工学協会(JCI) 発刊の「コンクリート工学」誌 2005 年 1 月号(特集/21 世紀のコンクリートに望む)に 21 世紀におけるコンクリートについての願望を a から z まで列挙した。ここにその要点を示す。

- a. コンクリート構造が経年とともに深みを増し好感を持たれること
- b. 大地震や災害時に対する有用性
- c. 明るい未来を連想される言葉となる
- d. 後継者による過去の評価と発展への寄与
- e. わが国の技術が世界で先進的な役割を果たす
- f. コンクリート技術者の十分な外国語能力
- g. インテリジェントなコンクリート技術
- h. 大学における講義の発展
- i. データベースの完備
- j. セメント産業の動脈産業としての進化
- k. モニタリング技術で先手を打つ
- l. 造形の自由で設計者に好まれる
- m. 供用限界状態の重視
- n. 性能照査型から性能創造型へ
- o. 超高強度コンクリートによるブレークスルー
- p. 高強度化に伴って必要となる物性の解明
- q. 塩分を吸着する混和剤の出現
- r. 鋼材の進化と複合化の発展
- s. 新素材との複合による新しい技術
- t. JCI, PC 技術協会の存在意義の継続
- u. fib の活動に日本が中心となる
- v. JCI と PC 技術協会の年次大会等の継続
- w. 食器、家具等への使用範囲の拡大
- x. コンクリート技術者、研究者への正当な評価
- y. モニュメントの建造でポジティブな心理を与える
- z. 金融支配を脱却し確固とした社会基盤を示す

以上はコンクリートに望むことを a から z まで列挙したものであるが、コンクリートに関する一般的な事柄が多く、プレストレストコンクリート(PC)に関する特定の項目はあまり示されていない。PC についてはチェコの Brno 工科大学の Strasky 教授が構造工学史上における人類最大の発明と位置づけたとおり、当然 21 世紀における PC 技術の発展が大いに期待されることとなる。

PC 技術に関して著者は 7 年前の本誌 1999 年 11 月号(Vol. 41, No. 6)に次世代の PC 技術について述べる機会を



* Shoji IKEDA

国立横浜大学 名誉教授
(株)複合研究機構 代表取締役

得た。また、2003年11月号（Vol. 45, No. 6）ではプレストレスの威力とその展望について本誌に私見を述べさせていただいた。この7年間を顧みれば、この間にPC技術はきわめて順調に発展を続けてきたことが伺える。ただ7年前と大きく異なる点は公共投資の大幅な削減による工事量の減少と過当競争の激化による業務環境の激変である。しかしながら冷静に考えてみればPC技術はちくちくと人間社会の根底を支え続けており、その発展は社会にとってきわめて有用であることに気がつくはずである。

ここではまず若干7年前から述べてきたことを顧みながら思考を進めることとしたい。

1999年の時点で考えた次世代PC技術とは何らかのブレークスルーを得て大きく発展する技術ととらえ、ターゲットとして次の基礎技術を列挙した。

- A. 形状記憶型補強材の開発
- B. 超高性能コンクリートの開発
- C. 超高強度緊張材の開発
- D. 超耐久的緊張材の開発
- E. インテリジェントPC技術および高性能PC技術の開発
- F. 力学教育型PC技術の開発
- G. リサイクルPC技術の開発
- H. 環境低負荷型PC技術の開発

これらは2010年頃から実用化されると述べたが、すでにB.の超高性能コンクリートについては圧縮強度が200MPaのものが実用化され、わが国の酒田みらい橋や韓国の仙遊橋などの橋梁が建設されてきた（写真-1）。



写真-1 仙遊橋（韓国ソウル）

圧縮強度200MPaの超高強度コンクリートを用いた支間120mの歩道橋（2004.9.4撮影）

D.の超耐久的緊張材については多重防食層の適用とともにステンレス鋼の適用などでほぼ現実化しているし、その他の技術も抽象的な課題のものはすでに実施が可能となってきている。次世代技術というやや大上段から考えなければならないのでここでは主として実現可能な観点から時代の移り変わりを念頭に置いて議論を進めたい。

現在の社会におけるキーワードは「持続可能な発展（Sustainable Development）」であり、それが世界共通の目標

であろう。高性能PC技術、高耐久的PC技術、などいずれもプレストレストコンクリートがコンペティティブであるための条件であり、その努力が求められるのである。具体的にはコンクリートが単に従来のコンクリートではなく、鋼と同様に氏素性のわかった「構造コンクリート」として生まれ変わることが先決であり、これを基本として持続可能な発展が期待できる。

次世代の社会については1999年の時点ですでに世界中が瞬時に情報を共有して情報コロニー化することを予測したが、インターネットの普及によってグーグルやウィキペディアなどを通じてほとんどの知識が情報として共有される時代となってきた。PC技術に関しても積極的に情報を発してF.の力学教育型PC技術の一環として発展させることが必要である。談合とかひび割れなどのトラブルのニュースのみが一方的に情報として拡がることを不快に思う前に本来の必要な情報を発する手段を考えることが大切であると感じている次第である。

鉛直プレストレスを用いたPC橋脚の普及やコンクリート研究所の設立など今後に持ち越された重要課題も多いことも認識しなければならない。

3. PC分野の発展普及の基本

建設分野は現在逆境の中にあるが社会基盤の建設と維持更新については一時的な落ち込みはあるものの長期的には経済活動の中の主要な分野であることには変わりはない。しかしながらかつての農業がそうであったように技術革新の効果によって合理化が進み、労働集約型産業から脱却しており、また、設計や営業などの業務も大幅に合理化が進んできた。このため労働市場は買い手市場となっている。このような状況の中では一般論として明るい環境とはいえないのであるが、一方、PC技術のコンペティティブネス（競争性）を発展させるならばPCの需要は相当に拡大することが可能であると思われる。すなわち、従来の鉄筋コンクリート構造（RC）分野や鋼橋分野に一層進出する余地は多いはずである。道路や鉄道構造物でいえば、土工部やトンネル部もPC橋が経済性を発揮できるならPC橋が採用される可能性があるのである。橋脚の鉛直方向にプレストレスを導入するPC橋脚は耐震性が格段に優れているので大いに力を入れて普及させるのがよいと思われる。公共投資が減ったからPC構造物の建設も減少するという受身の姿勢から、工事全体が減ってもPCは増えるという意気込みでPC技術を発展させて欲しいと考える次第である。

人間社会は社会の豊かさに伴って社会基盤に対する安全性や快適性が向上することを求めている。2004年12月26日のスマトラ地震津波では22万人以上の死者が出る大惨事となったが、わが国の沿岸は大きな津波を受ける可能性のあるところが多い。このような地域にPCによる大規模な人工台地を造り、安心して沿岸地域で生活できるようにすることも考えなければならない。ローマは一日にして成らずで、世代を越えた防災の取組みをすればよいのである。まずは避難場所の構築から始め、次第に生活空間へと拡張すればよいと思われる。これはPCの活用の一例としての

提案である。

第二東名高速道路をはじめとしたわが国の高速道路は現在、大々的に建設が展開されているが、そのほとんどの建設空間は山間部などで土地の利用価値がきわめて低いところである。そこを価値ある社会の大動脈に変換するのであるから日本の国土の利用面積が実際上増大することになるのであり、その価値ある面積をPC橋が形作るのである。現在の社会基盤の建設がこのような価値をもっていることを少なくとも工事関係者は認識するのがよいと思われる。

4. PC 橋の発展の方向

1950年頃にフレシネーが建設したマルヌ5橋は支間が70m程度の道路橋であり、プレテンションウェブやプレキャストセグメント技術を駆使した画期的な橋梁である。この橋に関しては近年しばしば紹介されていてご存知の読者の方々も多いと思われるが、きわめて高品質のPC橋として50年以上も供用されていることはPC技術者にとっての何よりの財産であろう。ここで忘れてはならないことは、この橋は建設時に他工法の橋梁との経済的な競争に打ち勝ってこの橋梁形式が採用されたことであろう。プレキャストセグメントやプレテンションウェブ工法は現在においても最先端のものであることを考えても、このマルヌ5橋はPCのもつ技術革新性の象徴としてPC橋の原点に位置づけることができよう。PC技術を現時点で一層コンペティティブなものにするには今から60年前にフレシネーが行った画期的な創意工夫に匹敵する技術開発を現時点で行うことが必要なのである。

最近ひび割れをある程度許容するいわゆるPPC構造（あるいはPRC構造）を採用した橋梁に過度のひび割れが発生したとして問題となっているが、今から約40年前にこの形式の橋梁として世界で初めてといわれているものが北海道で建設された。この橋梁は当時の北海道大学横道教授の指導によって造られた上姫川橋であり現在でもまったく健全に供用されている。この上姫川橋もPPC橋の原点として評価される橋梁である（写真-2）。

上姫川橋は函館の近くに位置しているが、その近傍では



写真-2 上姫川橋（北海道）

世界最初のPPC橋で1964年に完成した橋長80mの道路橋（2005.9.15撮影）

現在E-NEXCOによって波形鋼板ウェブを用いた高架橋が建設中である。なかでも鳥崎川橋は押し出し工法を採用し、その架設時手延桁に波形鋼板ウェブ部分と超高強度コンクリートで補強した鋼フランジ部分を用いた独特の新技術が採用された（写真-3）。

波形鋼板ウェブPC橋技術は大規模な斜張橋やエクストラード橋にも適用され、この技術は完全に日本が世界をリードしている。矢作川橋、栗東橋、日見夢大橋などの大型橋梁の合理的建設手法は波形鋼板ウェブの全面的な採用によって成しとげられたのである。また、波形鋼板ウェブとプレキャストリブやPC床版形枠、およびコンクリートストラットとを組み合わせる画期的な合理化を迫及した第二東名の桂島高架橋の建設は注目に値する（写真-4）。

さて、第二東名高速道路建設では現在橋長885m、最大支間115m、最大桁高8mの大規模な波形鋼板ウェブPC橋である赤淵川橋の建設が鋭意進められている。この橋梁は桁橋形式の波形鋼板ウェブPC橋としては最大規模のものである（写真-5）。

ウェブを波形鋼板とせず鋼管トラス材とした橋梁では国土交通省の紀ノ川橋がすでに完成しているが、第二東名高



写真-3 鳥崎川橋（北海道）

橋長554m、最大支間56m、押し出し工法による波形鋼板ウェブPC橋（2005.9.15撮影）



写真-4 桂島高架橋（静岡県）

橋長216m、支間54mの4径間連続波形鋼板ウェブPC橋（2005.12.14撮影）



写真 - 5 赤淵川橋 (静岡県)

橋長 885 m, 最大支間 115 m の波形鋼板ウェブ PC 橋 (2006.9.1 撮影)

速道路でも最大支間 119 m の PC 複合トラス橋である猿田川橋・巴川橋の下り線が完成した (写真 - 6)。

PC 複合トラス橋はウェブ部分の透明感によって地元でも歓迎されており, 今後も発展する構造形式であると思われる。

ウェブにプレテンション材を適用する橋梁も合理化 PC のひとつとして(社)PC 技術協会で設計施工ガイドラインを 2003 年 11 月にとりまとめたが, これをベースとしてこの工法がわが国ではじめて第二名神高速道路の錐ヶ瀧橋建設で採用され, 工事が進められている (写真 - 7)。

波形鋼板ウェブ, 鋼管トラス構造およびプレテンションウェブによる PC 橋の合理化の追及には外ケーブル技術の発展に大きく依存していることを再認識することが必要である。PC 複合トラス橋とは外見上同じ形式であるが, 施工過程がまったく異なる自旋式吊床版架設工法を適用した画期的な PC 道路橋が青雲橋として四国に完成した (写真 - 8, 9)。この橋梁に対してはわが国ではじめて *fib* 作品賞 (Outstanding Structure 賞) が授与されたのである。

以上でとりあげた PC 橋は各地で建設されてきた画期的な橋梁のごく一部の例である。上に述べたような種々の技術開発の成果を十分にレビューすることにより, 将来の PC



写真 - 6 猿田川橋・巴川橋 (静岡県)

橋長 625 m の猿田川橋および橋長 479 m の巴川橋は PC トラス複合橋で下り線が 2006 年 1 月に完成 (2005.12.14 撮影)



写真 - 7 錐ヶ瀧橋 (三重県) のプレテンションウェブ

橋長 1 257 m の上り線のうち中橋梁 (327 m) と東橋梁 (445 m) の中央ウェブにプレテンションウェブを採用 (2005.10.12 撮影)



写真 - 8 青雲橋 (徳島県)

支間 94 m の PC 複合トラス橋で吊床版工法を架設に用い自旋させることによりプレストレスを導入した道路橋 (2006.5.12 撮影)



写真 - 9 青雲橋 近景 (2006.5.12 撮影)

橋の技術的展開が見えてくるものと思われる。新材料の開発, 新しいアイデアの登場, 複合化の発展などがブレークスルーとして PC 橋を今後発展させるものと考えられる。今後は高強度材料の採用や高防災化が具現化するものと思われる。高防災化のひとつとして PC 橋脚の発展を強く望みたい。PC 橋脚は地震時の安全性や地震後の供用性に格段

に優れているほかに、現行の RC 橋脚の過密配筋も大幅に改善できるはずである。これに関する技術的開発を強く望みたい。

5. 高強度コンクリート国際シンポジウム

fib がサポートしている高強度コンクリート国際シンポジウムの第 8 回会議が 2008 年 10 月に東京で開催されることとなった。(社)PC 技術協会では現在このテーマに関して委託による研究委員会(委員長陸好宏史教授)を組織して活動を開始しており、このシンポジウムにその成果を報告する予定である。

第 1 回の高強度コンクリート国際シンポジウムは 1987 年にノルウェイのスタバンガーで開催された。第 2 回はアメリカのバークレイで 1990 年に開かれ、以降 3 年おきに開催されるようになった。第 3 回は再びノルウェイで開催され場所はリリハンマーであった。ノルウェイがこのテーマに大きな関心を示したのは沖合石油基地やフィヨルド横断橋梁などに高強度コンクリートを適用して耐久的、かつ、合理的な建設を進めていたからである。第 4 回は 1996 年にパリで開催され、1999 年はノルウェイのサンデフィヨルド、2002 年はドイツ、2005 年はアメリカと続いてきたが、いずれも開催地は FIP または *fib* の幹部会で伝統的に決めてきた。2008 年については 2005 年 2 月 25、26 日の *fib* 幹部会議で話題となりイギリスが意欲的だとの話もしたが、著者から日本開催について日本国内で賛成なら提案したいと発言した。そろそろ日本でも開催したらどうかとの声が国外から若干聞こえてきたことが著者の発言につながっていた。PC 技術協会では理事会でこの事を審議し、JCI との共催を念頭において日本開催に賛同することを決定した。この 2008 年の高強度コンクリートの国際シンポジウムは今後のわが国の PC 技術の発展に大きく寄与するものと思われる。

6. 性能創造型の設計施工規準の提案

(社)PC 技術協会では外ケーブル構造プレキャストセグメント工法設計施工規準をはじめとした規準類の出版を開始した。これらの規準では基本的な事項は土木学会のコンクリート標準示方書や日本道路協会の道路橋示方書に拠ることとされている。ところがコンクリート標準示方書の設計編は構造性能照査編となり、また、道路橋示方書は依然として許容応力度設計法に基づいている。そのためプレストレスの効果を一層具現化するためにはプレストレストコンクリートの特質を顕在化させた独自の基本的な設計施工の概念に基づいた規準の作成が望まれる状況になっている。

そこで PC 技術協会として作成するコンクリート構造の規準が具備すべき基本的なコンセプトをまず確立することが必要なこととなる。

以下にその構想の概要を示す。

- (1) 性能創造型の規準とする。
- (2) 構造コンクリートの定義を明確にし、鋼構造に負けない高品質な構造を目指す。

(3) Sustainable Development の姿勢を明らかにする。

(4) *fib* の Model Code における Service Life Design の考え方をとり入れるとともに長期にわたる供用限界性能を明確にする。

(5) 複合構造を積極的に考える。

(6) アセットマネジメントの考えに立脚し、維持管理との連携の概念を示す。

(7) 設計施工する構造物が単に環境に適合するだけでなく、新しい環境を創造することを強調する。

(8) 担当技術者がこれからの人間環境を提供する大きな責任と誇りとをもちながら創造的に思考を進めるガイドとする。

(9) 適切な経済設計を目指すとともに景観を創造する役割を強く認識するようにする。

(10) 比較設計を検討しその中から材料も含めた最適なものを提案する能力を求める。

(11) 書式としては、まず全体のパースペクティブを記述し、これを受けて条文を書く。今までの条文の後に解説がつくのは反対となる。

(12) 構造力学の重要性を強調し、景観に設計が従属しないようにする。ただし、景観には十分な配慮を払うことを示す。

(13) マニュアルを作成するのではなく、設計施工には基本的な構造コンセプトが最重要であることを強調する (Conceptual Design)。

(14) コンクリートの肌が有史以来の石造構造と同じ感触であることが人間の心理に安堵感を与えるものと思われるので、これを念頭において設計施工する姿勢を示す。

(15) 高強度コンクリート、有機繊維の混入によるひび割れ防止および浸透性塗布材などに注目する。

ここで提案している性能創造型の概念は英語でいえば Performance-Creative Concept とでも表現できるもので現時点ではあくまで著者の発想であり、今後の PC 構造物の一層の発展に必要な概念であると考えている。

7. おわりに

プレストレストコンクリートの概念は構造工学史上における最大の発明であるともいわれているが、その特徴のひとつに造形上の美しさを表現できることが掲げられる。著者が最初に PC 橋の美しさ、軽快さに驚いたのは大学 3 年生のときにフレシネーのマルヌ 5 橋のひとつであるエスブリー橋の写真を Komendant 博士の著書で見た時であった。今後の PC 技術への期待と展望を考えると、60 年前の PC 橋の原点に立ち戻ってマルヌ 5 橋を性能創造型の概念でレビューすることにより 21 世紀における新しい発想が生まれてくるものと思われる。

以上に述べた私見に対し、御批判や御指摘あるいは御賛同の御意見などを賜ることができれば著者として誠に幸いである。

【2006 年 9 月 29 日受付】