

# これからのプレストレストコンクリート (PC) 技術について

辻 幸和\*

## 1. はじめに

わが国のプレストレストコンクリート (PC) 技術は、第二次世界大戦直後に欧州から初めて導入されてから、約50年が経過している。この間、土木・建築の各種の構造物や施設に要求される性能は、多様化しているとともに、高度化・高品質化している。加えて、コスト縮減の要請が高まってきた。これらの要請に応じて、研究機関、大学、建設会社および発注機関等において、基礎的研究や開発および実物大規模の実験による検証と実構造物への適用などが活発に行われて、現在では、設計・施工・維持管理のいずれの分野においても世界でトップの水準にあるといえる<sup>1)~4)</sup>。わが国ではまた、新しいPC構造形式が模索され、開発されてきた。今後とも、新たなPC構造形式を開発する基本姿勢は持続されることであろう。

また現在では、持続的発展を遂げる循環型社会に適応したPC技術を開発することが、強く要請されている。このようなPC技術の開発は、超耐久性の確保や補修・補強工法の高度化等とも関連しており、これまで以上に積極的に取り組まなければならない課題でもある。

本文では、わが国におけるPC技術の特徴や今後目指すべき適用分野をあげるとともに、これらに関連する技術基準類の整備と技術基準の国際統合化について概観する。さらに、PC構造物の維持管理・補修・補強の重要性とそれに対応する「コンクリート構造診断士」への期待、および海外への情報発信と海外工事についても言及する。

## 2. PC 橋の構造形式の多様化とプレキャスト化

PCの構造形式は、多様化・高度化するとともに、鋼との合成化・複合化がより一層推進され、PCは新たな展開が図られている。図-1に示すように、高強度なPC緊張材とコンクリートを用いたPCは、PC緊張材には引張力を、またコンクリートには主として圧縮力をそれぞれ導入した構造であり、優れた構造特性を有している。これまで、PCはそ

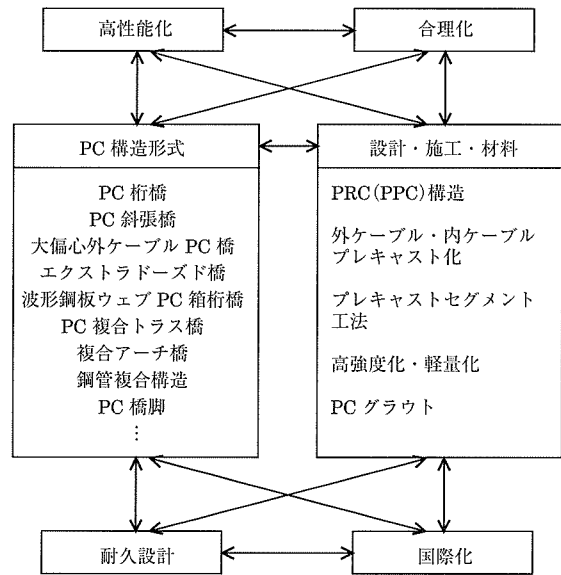


図-1 PC橋技術の現状<sup>1)</sup>

の優れた構造特性をとくに道路橋や鉄道橋などの各種の橋に工夫を凝らして適用し、社会基盤の整備に顕著な貢献をしてきた。

PC橋に適用される構造形式としては、内ケーブル構造の桁形式が圧倒的に多いし、今後も採用されるであろう。桁形式の適用が困難な新しい構造形式としては、PC斜張橋、外ケーブル構造PC橋、大偏心外ケーブルPC橋、エクストラードロード橋、波形鋼板ウェブPC箱桁橋、PC複合トラス橋、複合アーチ橋などが開発され、実用されてきた。そしてこれらの構造形式は、設計や施工の方法および各種の新材料や高品質化された材料が採用された、PRC (PPC) 構造、PC橋脚、鋼管複合構造、プレキャストセグメント工法、プレキャスト化、高強度化・軽量化、PCグラウトの高品質化などの開発と相まって、多くの特徴あるPC橋が建造されてきた。個々の構造形式の紹介は、今回の特集でも別になされているため、本文では割愛する。

ただ、わが国のPC技術の特徴を示すと考えているプレキャストセグメント工法を採り上げて、以下に紹介する。

大型のプレキャストセグメントを製作して一括架設した代表例として、わが国では木曾川橋・揖斐川橋がある。このような大型プレキャストセグメント工法についての実施例は、海外からも多く報告されていることは、周知のことである。

このような大型化だけでなく、欧米に比べて運搬の制約がとくに厳しいわが国の交通実状を反映したプレキャストセグメント工法がある。工場製品のセグメントを自動車で



\* Yukikazu TSUJI

群馬大学大学院 工学研究科  
社会環境デザイン工学専攻 教授

公道を運搬して現場で組み立てる方法や、小型のセグメントを運搬・架設して、ストラット等を追加し床版を施工して全体の断面を完成させる方法などといった、セグメントを構造物として一体化させるために、種々の工法が開発され適用されている。これらの工法は、非常に高いレベルの解析、設計や施工の技術力を必要とする<sup>1)</sup>。

また、PC 複合トラス橋も、各種部材を構造物として一体化させることにおいて、プレキャストセグメント工法と同様な技術的特徴があると考えられる。すなわち、上・下の床版は PC とし、腹部の円柱形の鋼管と接合する複合構造であり、構造的にコンパクトな点と景観性に優れている点に特徴がある。トラス格点における鋼管とコンクリートとをきめ細やかに接合する施工技術にも、非常に高い技術力を必要とする<sup>1)</sup>。

PC 技術については、プレキャスト化にかぎらず、半世紀を超える時を刻んで、数多くの技術開発の成果やオリジナルな技術を創出し、集積してきた。大きな財産である。2006 年 6 月にイタリアのナポリ市で開催された第 2 回 *fib* (国際コンクリート連合) の総会において、ギリシャのリオン・アンティリオン橋 (Rion-Antirion Bridge) などとともに、青雲橋がわが国で初めて *fib* Awards を受賞したことは、非常に喜ばしいことである。この青雲橋の設計概念を進展させた例として、2007 年に土木学会田中賞を受賞した青春橋がある。

青春橋は、わが国で当時は珍しかった公募方式の「設計施工一括発注方式」で造られた歩道橋であることも、受賞に対して評価された (写真 - 1)。すなわち、受注者の選定、橋梁形式と架設方法などの決定を、公募による技術提案を通じて行ったことが高く評価された。これらの決定は総合評価方式により行われ、受注者とは「設計施工一括発注方式」により契約を締結された。そして、これら一連の事務の執行については、(財)群馬県建設技術センターが建設マネジメント業務の一環として、婦恋村より受託して実施した点が、高く評価された。10 案の技術提案がなされ、7 名の審査員で構成された審査委員会において、提案者による提案内容の説明の後、各委員から提案者に対するヒアリングを行った。審査の点数配分は、経済性が 35 %、構造性が



写真 - 1 青春橋

25 %、施工性が 10 %、維持管理が 20 %、景観および環境への配慮が 10 %として、総合的に評価された。その結果、経済性では 3 番目であったが、構造性、施工性、維持管理面などで優れる「自旋式下路 PC 二重張弦桁構造」の橋が最適であると評価され、発注者である婦恋村に提案され、了承されたのである<sup>5)</sup>。

このような事例を、一つの大きなプロジェクトの中で統合していくことが重要である。すなわち、システムを統合化し、付加価値を付けて、PC の優位性をさらに高めていくことが、これからのわが国の大きな開発目標の一つである。

### 3. 維持管理・補修・補強へのシフト

既存構造物の維持管理・補修・補強は、RC だけでなく PC の構造物でも、大きな技術開発の場である。現在、診断・補修・補強の実施で求められているのは、写真 - 2 に示すように、構造技術に裏付けのされた事例が多い。しかしながら、適用例が多い外ケーブルのプレストレスを導入する事例では、構造的な裏付けなしに補強しようとして安全性を低下させているケースが多々ある。このような事例が、今後も増えてくることは危惧されている。



写真 - 2 外ケーブルによる補強

また、従来のように PC 構造物を補修・補強するだけでなく、たとえば既存の RC 橋を外ケーブルで補強して、パースナルなプレストレスを導入することにより、RC 橋の性能を高め、グレードアップさせることも容易である。鋼製の橋梁についても、外ケーブルの適用は補強方法として有力と思われる。こういった分野では、PC 技術を背景にした技術開発を行うとともに、これらの分野に従事する技術者を養成していく必要がある。

これら既存構造物の維持管理・補修・補強に従事する「コンクリート構造診断士」の資格制度を、PC 技術協会では平成 19 年度から発足させ、この資格を得た技術者が増加している。すでに、(社)日本コンクリート工学協会 (JCI) が平成 13 年度に制度化した「コンクリート診断士」と共同して、構造的な知識がとくに要求されている「コンクリート構造診断士」の発展を期待したい。

#### 4. 建築・橋脚分野への適用拡大

これからは、建築分野へのPCの適用を拡大していくことが望まれる。PC建設業協会が集計した2007年度の用途別受注実績をみると、約85%の橋梁への適用に対して、建築構造物は全体の5%程度の適用であり、非常に少ない。PC造建築の場合、構造解析が複雑で設計が煩雑であることが、適用例が少ない大きな理由と思われる。

逆にプレストレスを導入することで、地震力による変形(変位)を制御し、地震の影響を低減できる利点がある。地震のエネルギーを吸収して、耐震性を高めるこのようなPC技術が注目され、受注が増えている。写真-3に示すフランスのミヨー高架橋では、その高橋脚の上部100m区間にPCを導入して、橋脚の可撓性を向上させることと、ひび割



写真-3 タルン川渡河部のミヨー高架橋の橋脚、主塔、斜材(土谷政治氏撮影)<sup>4)</sup>



写真-4 建物の耐震補強例

れを制御して耐久性を向上させることの相反する要求性能を同時に満足させている。このような試みにも注目したい<sup>3,4)</sup>。

また、部材をプレキャスト化(PCa化)して現場において接合した場合、PCは施工性と耐震性がより向上する。建築部材をPCa化する技術はまた、写真-4に示すように、建物の耐震補強技術としても、各種の工法が開発され適用例も増えている。このような適用を、大いに期待したい。

#### 5. 海外のPC工事への進出

PC建設業界でも、海外展開を加速させる動きが現れている。国や地方自治体の財政難から、国内の公共工事の縮減傾向が続くなか、高い技術力を生かして最近では、ベトナムなどの東南アジアや中近東への進出も目立つようになってきた。

今後、このような動向はさらに加速していくことが予測される。このような海外進出と国際化に適切に対応するためには、PC建設業は一致して協働していかなければならない。これまで以上に真剣に検討すべき時期にさしかかっていると考えている。

#### 6. 基準類の整備

PC構造物の設計や施工方法の基準化に関しては、PC技術協会内には「PC技術規準委員会」が常置されている。これまでに各種の基準類を制定し、改訂している。

平成17年度は、「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(改訂版)」、「貯水用円筒形PCタンク設計施工規準(案)」ならびに「複合橋設計施工規準(改訂版)」を出版し、これら規準を解説したセミナーも開催している。また、PC構造物のややもするとアキレス腱になるPCグラウトについても、「PCグラウト設計施工指針」も発刊し、セミナーを開催している。

平成18年度からは、「PC斜張橋・エクストラロード橋設計施工規準」と「PPCの設計施工規準」の見直しを行っている。その成果の公表が平成21年に予定されている。また、「PC構造物の要求性能と性能照査手法に関する研究委員会報告」についても公表し、講習会を開催している。

平成19年度からは、性能創造型の新しい概念のPC構造物設計施工規準類の作成を進めている。

平成20年度には、高強度コンクリートPC構造物研究委員会の成果として、「高強度コンクリートを用いたPC構造物の設計施工基準」を作成し、報告会を実施している。

#### 7. 基準類の国際整合化

こうした基準類を整備していく一方、これらの基準類をISO(国際標準機関)における規格化へどのように結びつけていくかが、今後の課題となる。“国際基準を制するものは、国際市場を制する。”といわれているように、国際基準の制定は欧米諸国を中心に各国が国益をかけて対応している<sup>6,7)</sup>。わが国でも、国内市場の門戸開放と前述した海外市場における展開において、国際基準の制定を主導することは不可欠である。

7.1 欧州における建設製品指令 (CPD) と CE マーキング

EU (欧州連合, EC) や欧州自由貿易連合 (EFTA) 域内で流通するすべての建設製品は、建設製品指令の CPD (Construction Products Directive) 89 / 106 / EEC の「基本的要求事項」に適合することが要求されている。CPD は、EC (EU) 委員会 (欧州委員会) より提案されて 1988 年 12 月 21 日に閣僚理事会で採択された後、1989 年 2 月 11 日に発令された閣僚理事会指令 (Council Directive) である。そして、加盟国の関連する法律を規制している。この CPD も発令後約 20 年が経過し、その指令の実効性を高めるための改定作業が、現在大詰めに達している。規制力が強化されるものの、その骨子には大きな変更はないと聞いている。

7.2 CPD の品質保証システム

この CPD の品質保証システムでは、附属書 III に表 - 1 に示される適合性の証明方法が明示されている。そして、この適合性が証明された建設製品には、図 - 2 に示す CE マー

表 - 1 技術基準に対する適合性評価システム (CPD89 / 106 / EEC の附属書 III)

製造者および 公認機関の業務	公認の認証機関 による製品の適 合証明書		製造者による製品の適合性宣言 (三つの方法)			
	1+	1	第 1 の 方法	第 2 の 方法	第 3 の 方法	第 4 の 方法
適合性評価符号	1+	1	2+	2	3	4
製造者による初回 型式試験			●	●		●
公認機関による初 回型式試験	●	●			●	
工場で採取した試 料の、製造者が定 めた試験計画に従 った試験	●	●	●	●		
工場、一般市場、 建設現場で採取し た試料の、公認機 関による監査試験	●					
出荷待ちまたは納 入済のバッチから 採取した試料の製 造者または公認機 関による試験						
製造者による工場 生産管理	●	●	●	●	●	●
工場および工場生 産管理の公認機関 による初回の監査	●	●	●	●		
工場生産管理の公 認機関による継続 的監査、判定、評 価	●	●	●			

注：●：実施業務  
製造者による製品の適合性宣言 (第 1 の方法) に対しては、適合性の証明を行う諸機関 (製品認証機関、検査機関、試験機関) の諸機能は、同一機関または異なる機関が実行してもよく、その場合、適合性の証明に参加している検査機関およびまたは試験機関は製品認証機関に代わってその機能を遂行しても差し支えない。



図 - 2 CE マーキング

キングが貼付でき、欧州域内で自由に流通できるのである。

CPD による建設製品の適合性の証明は、表 - 1 に追記した「適合性評価符号」の「1+」から「4」で、一般に示される。すなわち、① 公認の製品認証機関による製品の適合証明書による「1+」と「1」か、② 製造者による製品の自己適合性宣言によるかのいずれかが表示されている。後者については、三つの方法の 4 区分 (「2+」から「4」の適合性評価符号) のうち、それぞれ黒丸印についての業務を実施して、CE マーキングの貼付が認められるのである。

CPD に基づく建設製品の適合性証明は、大別して 2 ルートある。1 つは、欧州規格 (EN) における整合欧州規格 (hEN) であり、他のルートは欧州技術認証機構 (EOTA) における欧州技術認証 (ETA) による方法である。

7.3 hEN による CE マーキング

欧州連合 (EU) の欧州標準化委員会 (CEN) では、さまざまな欧州規格 (EN) が作成されている。CEN における欧州規格 (EN) の制定作業においては、CPD の「基本的要求事項」に適合していることを明らかにするための規定内容を盛り込むことが要請されている。このような EN のうち、CPD に基づき、欧州委員会の建設運営委員会 (SCC) から CEN にマンドート (mandate) が与えられた EN は、整合欧州規格 (hEN) として発刊され、図 - 2 に示した CE マーキングを貼付することができる。

欧州委員会は、その後公布している CPD の追補やそれぞれの hEN の中において、表 - 1 に示した品質適合性の証明方法を提示している。2001 年 4 月に発刊された hEN の建設分野における第 1 号の EN 197-1 (一般セメント) では、適合性の証明方法は「1+」の一番厳しい方法である。また 2002 年 5 月に発行された EN 934-2 (コンクリート用混和剤) では「2+」の、2003 年 7 月に発刊された EN 12620 (コンクリート用骨材) の高い安全性が要求される骨材とファイバーでは「2+」の、それぞれの証明方法が明示されている。

7.4 EOTA における PC 定着具の CE マーキング

CPD においては、hEN で規定されない建設製品についても、CE マーキングを表示できる別の適合性評価システムが盛り込まれている。その認証機関としての欧州技術認証機構 (EOTA) が 1990 年にベルギー国のブリュセル市に設立され、そこでは、欧州技術認証 (ETA) の発行や ETA のガイドライン (ETAG) の制定を行っている。EC 委員会の SCC において、製品の普及程度や CEN 内での制定の合意の難易度に応じて、EOTA にマンドート (mandate) が与えられ、hEN に含まれない新しいあるいは特殊な材料や製品などの建設製品の適合性を評価している。

外国で開発されてわが国に導入されている PC の定着工法は、アンダーソン工法以外は、欧州に由来しているものである<sup>2)</sup>。それらの PC 定着工法については、図 - 2 に示す CE マーキングを取得する動きが本格化している<sup>7)</sup>。

PC 定着工法は、この評価によって CE マーキングが表示できるものである。そのためには、ETAG の第 13 番目である ETAG 013 に従って、製品認証の証明方法としては、表 - 1 に示した「1+」の一番厳しい方法が指示されている。なお、ETAG 013 には、PC 定着工法に関連の深い「工法保持

会社」,「PC 工事施工専門会社」,および「PC 緊張資材供給会社」のそれぞれが,分担すべき役割と資格をともに規定している。

### 7.5 ユーロコードへの対応

PC の設計も含まれる欧州構造基準 (ユーロコード) のように,欧州の設計・施工・資材に関する技術基準の整備は,2008 年 12 月末ではほぼ終了した。そして東南アジア諸国の一部ですでに,この欧州構造基準の採用を表明している。

東南アジアや中近東等の諸国において,以前にも増してわが国と競合するであろう欧州の技術基準が浸透した後では,わが国の技術基準をその国の技術基準に採用してもらえことは非常に困難である。このような国際化に適切に対応していくことは,これからわが国が海外工事へ大きく展開するためにも重要な作業の一つである。

## 8. 海外への情報発信

世界のトップレベルにあるわが国の PC 技術をさらに向上させると同時に,これらの先進の設計・施工・維持管理の技術をわが国から海外へ積極的に情報発信することが重要である。これまでも *fib* (国際コンクリート連合) のシンポジウムやコンgres などにおいて,わが国からも種々の優れた研究や技術開発の成果を発表してきた。

2008 年 10 月に日本コンクリート工学協会 (JCI) と共催で開催された「高強度・高靱性コンクリート国際シンポジウム」は,2002 年に大阪で開催された第 1 回 *fib* コンgres と同様に,良い機会であった。

また,単なる情報発信だけでなく,相手国が計画しているプロジェクトのスペックにわが国で開発し蓄積した技術・工法や設計手法が採用してもらえるように,国際的なコンセンサス作りやネットワーク作りをしていくことも必要である。高い技術力を前面に出し,国際競争に打ち勝つ

てプロジェクトの受注と遂行に結びつなげるように,側面から支援できるようなシステムを,わが国において産官学が協働して構築し,実施していくことも重要である。

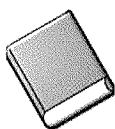
## 9. おわりに

PC 技術が欧州から導入されて 50 年が経過し,その間のわが国における PC 技術の特徴を示し,PC の今後推進すべき適用分野をあげた。また,技術基準類の整備と技術基準の国際整合化,および海外への情報発信と海外工事についても概観するとともに,PC 構造物の維持管理・補修・補強の重要性とそれに対応する「コンクリート構造診断士」の期待について述べた。本文が,今後のわが国における PC の発展に寄与できれば幸甚である。

### 参考文献

- 1) 辻幸和：PC 技術における新しい構造－PC 構造物における新たな挑戦－,プレストレストコンクリート技術協会 第 32 回 PC 技術講習会, pp.1～22, 2004 年 2 月
- 2) 辻 幸和：PC 定着工法－総論, PC 定着工法 (2000 年版), プレストレストコンクリート技術協会 pp.5～10, 2000 年
- 3) 山本徹, 春日昭夫, 森拓也, 辻幸和：海外事例の紹介－最近の欧州 PC 橋梁と *fib* Symposium ブダペスト－, プレストレストコンクリート技術協会, 第 34 回 PC 技術講習会, pp.1～35, 2006 年 2 月
- 4) 辻幸和：世界一高い, フランスのミヨ－高架橋, かけ橋, No.93, pp.14～15, 2005.10
- 5) 坂尾博秋：姫恋村運動公園歩道橋のプロポーザル－設計施工一括発注方式－, 橋梁と基礎, pp.17～20, 2006.9
- 6) 辻幸和：PC 技術の海外規準, プレストレストコンクリート, Vol.46, No.1, pp.16～23, Jan. 2004
- 7) 辻幸和, 広瀬晴次：PC 定着システムの CE マーキングによる製品認証, プレストレストコンクリート, Vol.48, No.1, pp.8～13, Jan. 2006

【2009 年 1 月 14 日受付】



刊行物案内

# コンクリート構造診断技術

コンクリート構造診断技術講習会テキスト

2008年 5 月

定 価 7,500 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会