

最近10年間の土木分野のPC技術を振り返って

二羽 淳一郎*

1. はじめに

編集部からの依頼で、PC工学会60周年記念誌に、表題の論説を掲載することとなった。「50周年から現在までの10年間の土木分野のPC技術を振り返って」との注文であるが、そのような難しい注文に応えるには、素より力量不足である。そこでおよそこの期間に行われたいくつかの事業に基づいて、PC技術の一端を紹介することにより、注文に応えることにしたいというのが筆者の思いである。この点、何卒ご容赦いただきたい。

2. この10年間

2009年から2018年までの10年間を振り返るとき、PC技術に入る前にまず思い出すのは、冒頭の2009年に誕生した民主党政権である。とくに、「コンクリートから人へ」などという、とんでもないキャッチコピーでコンクリートをおとしめたことは記憶に新しいところである。3年あまり続いた政権も2012年12月末に終了したが、社会インフラもそのままでは劣化するばかりであったように思う。政権交代直前の2012年12月に発生した笹子トンネルの天井板落下事故は、本当に不幸な事故であったが、それを契機に社会インフラの維持管理が見直されることとなり、2014年度からは道路構造物の5年に一度の近接目視点検が義務付けられることになった。この点検は2018年度で一巡したが、さらに今後もより合理的なものに修正されて継続される。PC分野においても、社会の動きと連動して、それまでの新設の時期から、維持管理の時期へと明らかに様相が変化してきている。新設のプロジェクトが完全になくなったわけではなく、新東名や新名神高速道路、あるいは海外では現在も盛んにPCを用いた土木事業が継続されているが、それと同時に維持管理案件も増加してきているというのが、現状ではないだろうか。土木学会コンクリート標準示方書の維持管理編の改訂、同じく田中賞における新設分野に加えて改築分野での授賞、本工学会賞作品賞における改築・改修部門の設置等も、このことに関連する動

きといえよう。以下、田中賞の受賞案件等を題材に、ここ10年間のPC技術の一端を紹介することとしたい。

3. 新設の構造物におけるPC技術

3.1 プレキャスト化

まず、ここ10年で目立つのはプレキャスト化の拡大である。その目的はさまざまであるが、結果的に工期短縮、省人化、ならびに品質の向上が図られていることが指摘できる。

写真-1は、ベトナム北部のハイフォン市のラックフェン国際港へのアクセスのための海上橋であるディンブー・カットハイ橋(2017年、以下()内は完成年を示す)であり、総延長は5.44km、幅員は16mである。ODAのSTEP案件として、わが国の設計会社の共同企業体と、わが国の会社を含む施工のための共同企業体によって建設された。主桁はPC箱桁であるが、ショートラインマッチキャスト工法によってプレキャストセグメントを製作し、ポリエチレン被覆されたPC鋼材を外ケーブルとして使用して一体化し、60mのスパンに対して、スパン・バイ・スパン工法により架設された。積極的に効率化・省力化を推し進めた結果、4.43kmにおよぶ海上架設を13ヵ月で完了させることができた。塩害の影響が厳しい海上で、プレキャスト化により耐久性を高めた事例である。



写真-1 ディンブー・カットハイ橋

コロラドリバー橋(2010年)は、フーバーダムの堤体上を走るUS93号線のバイパスとして、フーバーダム直下のコロラド川上空に架設された橋長578m、アーチ支間323mの長大アーチ橋である(写真-2)。北米最大のアーチ支間、並列するツインアーチリブを鋼製トラスにて連結した点、高温・乾燥・強風下での作業など、さまざまな特徴があげられるが、ここでは最高87mのコンクリート



* Junichiro NIWA

東京工業大学
環境・社会理工学院 教授

橋脚をプレキャスト化した点に着目したい。高さ3 m、横幅4.6 m、縦幅1.5～3.6 m、最大で約40 tのプレキャストセグメント508個を、架設地点から約20 km離れた専用のヤードでショートラインマッチキャスト工法により製作し、現場に運搬した。現場では接合面にエポキシ樹脂を塗布したあと、PC鋼棒にて連結し、緊張固定した。これにより橋脚の急速施工を実現している。本橋にはASCEのOutstanding Civil Engineering Achievement Awardも授与された。



写真 - 2 コロラドリバー橋

ドバイメトロ高架橋(2011年)は、UAEのドバイにおいて全長75 kmにもおよぶ都市交通システムの中核をなす61 kmの高架橋部である(写真 - 3)。完成までの工期を遵守するため、全区間にわたってプレキャストセグメント工法が適用された。プレキャスト部材でありながら、曲面を多用して、意匠性を高め、さらに厳しい塩害環境に耐えるため、コンクリート表面には表面塗装や表面被覆を行って、長期の耐久性を付与している。薄いクリーム色の高架橋は周囲の環境と調和し、景観的にも優れた印象を与えている。



写真 - 3 ドバイメトロ高架橋

沖縄県の伊良部大橋(2014年)は宮古島と伊良部島を結ぶ離島架橋である。全長3540 mの内、主航路部は3径間連続の鋼床版箱桁橋となっているが、それ以外の一般部はPCとなっており、宮古島側は長さ2185 mの32径間連続PC箱桁橋、伊良部島側は長さ935 mの14径間連続PC箱桁橋である。いずれも標準支間は70 mであり、プレキ

ャストセグメント工法が適用されている(写真 - 4)。プレキャストセグメントは宮古島側のヤードで、ショートラインマッチキャスト工法で製作され、架設地点までトレーラーで運搬されて架設桁を用いたバランス・カンチレバー工法で架設され、工期短縮に貢献した。鉄筋にはエポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレス鉄筋が使用された。またPC鋼材にはECFストランドが適用され、さらにポリエチレンシースで保護され、多重防食対応がなされている。



写真 - 4 伊良部大橋

3.2 新材料・新構造

ここ10年の傾向として、新材料・新構造の積極的な適用事例が認められるが、これは発注におけるデザインビルド方式の採用に対応した動きであると考えられる。

佐奈川橋(2012年)は、豊川市に位置する新東名高速道路の橋梁であるが、上下部工一体の設計施工一括発注方式により発注され、建設されたものである(写真 - 5)。下り線は橋長699 m、上り線はやや短く橋長636 mとなっている。下り線の最大支間は142 m、最大のP3橋脚は高さ89 mであり、6径間連続PC箱桁橋である。支間割りや



写真 - 5 佐奈川橋

橋脚高さの決定にあたっては、当地に生息する猛禽類の円形飛行の妨げにならないことも考慮された。このように環境面への配慮が一層厳しく求められてきたのも、ここ10年の傾向といえよう。材料の面では、高強度鉄筋（USD685）と高強度コンクリート（設計基準強度 50 N/mm²）が使用されたが、これにより、従来強度の材料を使用した場合に比較して、橋脚断面積で 40 %、基礎断面積で 20 % 縮小することが可能となった。その結果、周辺地形の改変面積も最小限にとどめることができ、環境負荷の低減にも大きく役立った。

バタフライウェブの適用も材料・構造面で注目される。バタフライウェブの最初の適用となった寺迫ちょうちょ大橋（2013年）は、東九州自動車道の日向ICと都農IC間に位置する橋長 712.5 m、最大支間 87.5 m の 10 径間連続 PC 箱桁橋である（写真 - 6）。ウェブに、蝶型をした設計基準強度 80 N/mm² の高強度繊維補強コンクリートウェブ（バタフライウェブ）を使用している。このバタフライウェブはすべて工場でプレキャスト部材として製作されるもので、鋼繊維は混入されているが、耐久性向上の観点から異形鉄筋は一切配置されていない。この点は、超高強度繊維補強コンクリート（UFC）指針と同じコンセプトである。そして、大きな引張力に対してはバタフライウェブ内に配置されたプレテンション方式の PC 鋼材で抵抗する。この新しいウェブの採用により、従来の PC 箱桁に比べて、ウェブは薄くなり、またウェブに大きな隙間ができることから、主桁の重量を約 10 % 低下させることができた。その結果、張出し施工ブロック長を通常の 3 ~ 4 m から 6 m へと増加させることが可能となり、これによって大幅な工期短縮が実現した。さらに加えて、箱桁内部には、バタフライウェブのダイヤモンド形の隙間から自然光が射し込んでくるため非常に明るい。このため、箱桁内に配置された外ケーブルの点検が容易となり、維持管理上も大きな利点が認められる。本橋には 2018 年 10 月にメルボルンで開催された fib コンgress で、fib Award が授与されている。

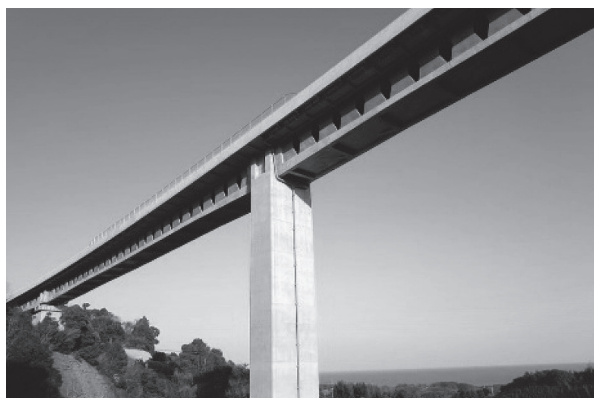


写真 - 6 寺迫ちょうちょ大橋

桶川高架橋（2015年）もバタフライウェブを使用したものである。本橋は圏央道の桶川加納ICと菖蒲IC間に位置する連続高架橋で、延長は約 3.1 km、最大支間 53.0 m の多径間連続 PC 箱桁橋でバタフライウェブを使用してい

る（写真 - 7）。本橋は、住宅地の中を通っていることから、騒音や振動の抑制、維持管理の容易さ、工期短縮などの観点からバタフライウェブが採用された。さらにここでは、新名神高速道路の古川高架橋で採用されたものと同様の、バタフライウェブを用いたプレキャストのリップ付き U 型コアセグメントも使用され、二重のプレキャスト化により、さらなる工期短縮が図られた。



写真 - 7 桶川高架橋

新名神武庫川橋（2017年）は 5 径間連続 PRC エクストラロード箱桁橋であるが、バタフライウェブが使用されている（写真 - 8）。本橋は、橋長 442 m、最大支間 100 m で、上下線一体のため広幅員となっており、主桁は 3 室箱桁となっている。ウェブは、中ウェブを含め、すべてバタフライウェブである。しかし、本橋においても自然光が射し込んでくるため、箱桁内部は十分に明るい。なお、本橋の 4 本の橋脚はいずれも 50 ~ 80 m 程度と高橋脚であるが、ハーフプレキャスト工法が適用されており、工期が短縮されている。



写真 - 8 新名神武庫川橋

ウェブへの新構造の適用で忘れてはならないのが、ウェブに鋼管トラスを使用した複合トラス橋である。新東名高速道路の猿田川橋・巴川橋（上り線、2009年）は、延長約 1.2 km にわたるが、鋼管トラス構造を採用することにより、上部工を軽量化することができ、これによって下部工も縮小された（写真 - 9）。併せて周囲の環境に対する圧迫感を

低減し、周辺と調和した透明感のある景観を付与することを可能とした。この構造では鋼管トラスとコンクリート床版の接合部の格点構造が構造上のキープポイントとなるが、格点構造の耐荷力、破壊性状、せん断に対する抵抗性、梁としての全体挙動や力の伝達機構を確認するための模型実験や数値解析により、設計の信頼性が十分に検証された。先行した下り線での知見をふまえ、主構数を4から3に削減するなど、さらにPC複合トラス構造の合理化が進められた。



写真 - 9 猿田川橋・巴川橋

3.3 景観に対する配慮

景観に対する配慮は次第に関心を集めるようになってきている。環境に対する配慮とともに、このことが顕在化してきたのも、ここ10年の大きな傾向ではないかと思われる。景観を前面に出す場合は、設計コンペが行われることが多く、以下の事例はいずれも応募案のなかから最優秀に選ばれたものである。

仙台地下鉄東西線の広瀬川橋梁（2013年）はその典例である（写真 - 10）。本橋は仙台を代表する風致地区を分断するものであるため、鉄道橋ではわが国初となる設計コンペが開催され、設計案が公募された。広瀬川を渡河する本橋は下流にある大橋との同時眺望性を意識することが必要との観点から、結果的に主桁断面を三角形断面とする本案が採択された。橋長は172mであり、3径間連続のPRCラーメン箱桁橋となっている。ややもすれば景観と調和しない面も多い鉄道橋としては珍しく、付随する高架橋とともに、卓抜した造形に基づく構造デザインによって、



写真 - 10 広瀬川橋梁

周囲の景観と深く調和し、快適性を高めている点が高く評価されている。

各務原大橋（2013年）は、岐阜県各務原市で木曾川を渡河する橋長594mの10径間連続PCフィンバック橋である（写真 - 11）。本橋では設計・施工を通じて、公開プロポーザル（設計コンペ）、フィンバック形状決定過程におけるアンケートの実施など、市民参加の機会が設けられ、最終的に橋面から突き出したフィンバックの緩やかな曲線が周囲の山並みと調和する本デザインが選定された。主桁断面も曲線を多用したシェル構造がフィンバックと一体となった2室の箱型断面となっている。また主桁両側の歩道部には全面的にプレキャスト部材が適用され、品質の向上と工期の短縮が図られている。



写真 - 11 各務原大橋

太田川大橋（2014年）は、広島市を流れる太田川放水路最下流部に架設された橋長412m、最大支間長116mの6径間連続鋼コンクリート複合アーチ橋である（写真 - 12）。2008年度から2009年度にかけて広島市が実施した国際的なデザインコンペにおいて最優秀として選ばれたものである。本橋の特徴は2連のアーチであり、厳島をはじめとする周囲の景観とうまく調和している。また歩道部はアクセス面の利便性と橋上からの瀬戸内海の眺望を考慮して、車道部とは完全に分離されている。主構造はPC箱桁と鋼ブレースドリブ・アーチ構造からなる複合構造となっている。



写真 - 12 太田川大橋

3.4 鉄道橋

鉄道橋においては、長大橋に対するエクストラードード橋の適用が盛んとなっている。三内丸山架道橋（2008）は、東北新幹線の橋梁として青森市に建設された橋長 450 m、最大支間 150 m の 4 径間連続 PC エクストラードード橋である（写真 - 13）。鉄道橋ではたわみ制限が厳しいことから、本橋のようなスパン 150 m といった長大橋では、斜張橋ではなく、主桁の剛性が相対的に大きく、たわみを制御しやすいエクストラードード橋が採用されることが多くなっている。とりわけ長大な本橋はエクストラードード鉄道橋の適用範囲の拡大に大きく貢献することとなった。実際にこのあと、九州新幹線の犬伏川橋梁（2009 年、橋長 286 m、最大支間 113 m）や北陸新幹線の神通川橋梁（2012 年、橋長 428 m、最大支間 128 m）には同形式の 4 径間連続 PC エクストラードード橋が採用されている。



写真 - 13 三内丸山架道橋

JR 山陰本線の余部橋梁（2010 年）は、橋長 310.6 m、最大支間 85.2 m の 5 径間連続 PC エクストラードード橋である（写真 - 14）。これは新幹線用の橋梁ではないが、有名な旧橋のトレスル橋脚における塩害の問題や、強風下での定時運行を確保するために、新しく PC エクストラードード橋に更新されたものである。旧橋のイメージを継承するため、等桁高、低桁高の主桁が用いられ、剛性を補うため、エクストラードード橋が採用された。新橋では、透明アクリル製防風壁が設置されたほか、塩害に対処するため、コンクリート橋脚のかぶり確保され、さらに短繊維の混



写真 - 14 余部橋梁

入により剥落防止対策がなされている。施工にあたっては、トンネルを含めた既設線路線形との滑らかな接続を図るため、主桁は橋脚上で横移動され、さらに回転架設された。

4. 構造物の維持管理における PC 技術

構造物の維持管理や震災復旧において、PC 技術が有効に活用されている事例も紹介したい。

4.1 震災復旧

写真 - 15 は 2016 年 4 月に発生した熊本地震で斜面が崩壊して橋台が沈下し、また橋脚自体にも貫通ひび割れが発生するなど、甚大な被害を受けた阿蘇長陽大橋である。この橋は熊本市内と南阿蘇村をつなぐ村道に位置する橋長 276 m の 4 径間連続の PC ラーメン箱桁橋である。この橋の一刻も早い復旧は南阿蘇村の村民にとって熱望されるものであった。UAV や画像解析を取り入れた事前の調査に基づき、基本的な復旧方針を策定した上で、両側の橋台を再構築し、被害の大きかった橋脚に対しては中空部へのコンクリートの充填と、炭素繊維シートによる補強、さらに橋台では支承を取り除いて、ラーメン構造に変更するなど、総合的に耐震性の向上が図られた。最終的に、2017 年 8 月に復旧工事を終え、供用を再開したが、PC 技術を用いた震災復旧工事の良い先例となるものといえる。



写真 - 15 阿蘇長陽大橋

4.2 機能向上

鳥取市を流れる千代川を渡河する源太橋は、1951 年に竣工した橋長 358 m の 16 径間連続 RC ゲルバー桁橋であった。竣工から 63 年余りを経て、当時の設計よりも大型車や通勤車両が増加したこと、また当初より幅員は 5.5 m と狭く、渋滞の発生や大型車すれ違いの際の危険が高まったこと等から、大幅な補修・補強を行い、また幅員も 6.5 m と 1 m 拡幅して、機能向上を図ることとなった。幅員を増加することにより、死荷重が増加するが、下部工のケーソン基礎への負担を抑えるため、RC のゲルバー吊桁を撤去して鋼桁に置き換え、最終的に鋼コンクリート混合の 16 径間連続ゲルバー橋に更新された。その他、外ケーブルを用いた主桁の曲げ補強、炭素繊維シートを用いた主桁のせん断補強、アルミ製高欄の採用による死荷重増加の抑止など、幅広い対策が講じられた。その結果、新橋への

架替え費用の半分の費用での更新を可能とした（2014年、写真 - 16）。老朽化した橋梁を経済的に更新し、機能向上を図った事例として今後参考になる事例である。



写真 - 16 源太橋

首都高速1号羽田線の勝島地区高架橋は1964年の東京オリンピックに向けて1963年に竣工し、以後50年以上にわたって、都心と羽田空港を結ぶ主要路線として供用されてきた。構造は3連の3径間連続PCゲルバー箱桁橋で、ゲルバー部のひび割れや支承の腐食などの損傷が定期点検により確認されていた。このため、ゲルバー部の連続化、支承の取り換え等を行うこととなった。最終的に、ゲルバー構造が解消され、3連の3径間連続PCゲルバー箱桁橋が9径間連続PC箱桁橋に更新された（2016年、写真 - 17）。ゲルバー部の連続化工事に加えて、既存の71基の支承の取り換え、炭素繊維シートを用いた主桁の曲げせん断補強、橋脚の再補強、剥落防止工等、さまざまな工事が首都高上の重交通および高架橋下の都道の交通を遮断することなく実施された点が特筆される。



写真 - 17 首都高速1号羽田線 勝島地区橋梁

4.3 コンクリート床版の大規模更新

最近、とくに注目を集めているのが、コンクリート床版の大規模更新事業である。本学会賞を受賞したものの中から紹介すると、中央自動車道の上長房橋（上り線）補強工事（2014年）や、中国自動車道の道谷第二橋（上り線）

床版取替工事（2017年、写真 - 18）があげられる。上長房橋（上り線）では、3径間連続の非合成鋼板桁橋（橋長161.9m）のコンクリート床版に対して、一部では取替え、また一部では上面増厚が行われた。取替えでは短期間で取替えを行う必要性のため、現場での施工性に優れたプレキャストPC床版が配置された。また、PC床版間の鉄筋継手部には、鉄筋端部に鋼製バンドを圧着した鉄筋を使用し、床版厚が薄く抑えられた。上面増厚では、鋼繊維補強超硬コンクリートを使用し、早期の交通解放に努めた。



写真 - 18 床版取換え
（中国自動車道 道谷第二橋（上り線））

一方、道谷第二橋（上り線）では供用開始から36年を経過し、経年劣化や冬季の凍結防止剤散布の影響で劣化が顕著となってきたRC床版に対して、上り線を追越車線と走行車線に分割し、半断面施工が行われた。既存のRC床版を撤去したあと、半断面のプレキャストPC床版に置き換えた。その際に、橋軸方向の接合目地部を縦桁で補強する必要がない、接合目地構造を採用し、片車線（半断面）でも車両走行が可能な構造としている点が特徴である。今後、全国で、さらに大規模なRC床版の更新が進められていくことになるが、さまざまな創意工夫により、合理的で効率的に作業が進められていくことを期待したい。

5. おわりに

50周年誌でそれまでのPC技術を振り返っているのが、最近10年に限定すると特筆するようなものは少ないのではないかと考えていたが、まったくの杞憂であった。PC技術はさまざまな面で、時代とともに着実に進歩してきている。時代の要請に応えるべく、今後も各所で努力を継続してほしいと願うものである。これからの10年にも大いに期待したい。

【2018年12月24日受付】