

土木に関する PC 技術の発展と PC 技術協会賞

山崎 淳*

PC 技術協会賞作品の変遷とそれら作品の建設当時の時代背景や社会情勢、公共構造物に対する社会的ニーズや PC 技術を取り巻く環境の変遷に関し、土木構造物の構造形式・材料・施工方法の革新技術が公共発注機関の果敢により社会資本に結実された事蹟を辿る。

キーワード：プレストレストコンクリート技術協会賞、PC 技術、革新技術、公共発注機関、技術の継承

1. はじめに

「50 年のあゆみ」(2009 年刊)によれば、表彰制度は、協会設立から 14 年、創設時副会長で 2 代、4 代会長の坂 静雄博士の 1972 年学士院会員推挙を記念して始まった。PC の大戦直後からの実用化が、活発果敢な研究心をもって進められていたことが知られる。PC 発祥の欧州の技術への探究心は強く、要人間の交流が活発であった。国際プレストレストコンクリート連盟 FIP (Federation Internationale de la Precontrainte) が 1952 年に設立されると、本協会は創立の年、1958 年に加盟した。46 年後の 1998 年、FIP は研究色の濃いヨーロッパ・コンクリート委員会 CEB (Comite Euro-internationale du Beton) と統合、国際構造コンクリート連盟、fib (federation internationale du beton, International Federation for Structural Concrete) となる。

わが国の PC 橋は、1951 年に支間 3.6 m の石川県の長生橋(プレテンション方式)に始まり、1953 年には福井県の東十郷橋(ポストテンション方式)がフランスのフレシネ社の技師の指導で架けられた。1954 年には早くも支間 30 m の鉄道橋が完成する。この国鉄信楽線第 1 大戸川橋梁は 2008 年度の国の登録有形文化財として歴史に名を残すことになる。1955 年に土木学会からプレストレストコンクリート設計施工指針が発刊された。

1959 年、神奈川県の大磯橋がドイツのディヴィダーク社の技師の設計と施工管理のもとで建設された。50 年代と 60 年代の PC 技術の発展の情景は、片鱗を往時の関係者の語り伝えて思い描くに過ぎないが、「50 年のあゆみ」のこの時代の記録は詳細を窮め時代を髣髴させ興味が尽きない。PC 技術の発展の確固たる基礎はすでにこの時期に築かれたのではあるまいか。のちに国鉄総裁となる仁杉 巖博士が気鋭の技

師の頃、実務と学術の傑出した研究者の先導的基礎研究、国・国鉄・各公団・地方自治体の積極的建設の成果が今に遺る。表彰制度開始の 2 年前には浦戸大橋で支間はすでに 230 m に達し、開始の年にはトラス張出し工法によるアーチ支間 170 m の外津橋の偉容が完成している。

第 1 回の表彰は 1974 年に論文部門のみ行われ、第 3 回(1977 年度対象)から作品、第 16 回(1988)から技術開発、第 30 回(2002)から施工技術の各部門が設けられた。論文部門以外の受賞数だけでも土木・建築合せて 236 件、年度平均で 6 件強となっている。そのうち 2009 年度までのものは「50 年のあゆみ」に写真とともに掲載されている。FIP と fib のコンgresで各国が提供し世界の一線技術者が着目するナショナルレポートがあり、すでに 1962 年イタリアでの開催時に提供され好評を博したと「50 年のあゆみ」にある。近年の受賞作品の多くは、4 ページ、和文・英文併記の記事が、FIP の 1990 (Hamburg), 1994 (Washington, DC), 1998 (Amsterdam), 以降は、fib の 2002 (大阪), 2006 (Naples), 2010 (Washington, DC), の各コンgresでの 6 巻として協会から発刊されている。

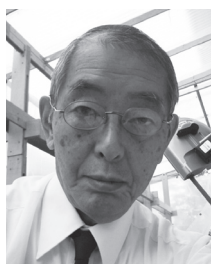
21 世紀には、架設機材の大型化精密化などによる工程短縮と、対照的に、自然環境・都市活動・生産環境・住環境など建設地点の状況に馴染ませる技術が開発されてゆく。構造・施工・材料・情報科学、専門性の高い革新技術が、単分野だけでなく、相互に補完しあいながら PC 技術の発展に寄与してきた。プレストレストコンクリート技術協会賞作品の変遷から、発想・改善の継続、相互の切磋琢磨、また、目を奪う斬新な構造物の出現に至る過程を想像すれば、各公共発注機関の良い事業へのためめぬ努力に思い至るであろう。

以下に紹介する橋梁の場合は、構造形式・支間長・工法の通称など最小限の情報を記述したに過ぎないが、PC の関係諸氏が構造物の新設・維持管理・補強の設計に携わる場合、構造物そのものは固より、仕事の一部を担当する場合でも、発想から完成までの全体像の創造に、先人達の好例が手がかりとなることを期待する。

受賞件名に付して、受賞回、受賞対象年度の西暦年号、受賞部門、の順で略記する。各部門の略記は、論文を「論」、技術を「技」、施工を「施」、作品を「作」とする。

2. 1970 年代 (第 1 回～第 7 回)

猪股俊司博士の「プレストレストコンクリート構造に関す



* Jun Yamazaki

日本大学 名誉教授

る一連の研究」(1回1973論)が歴代受賞者の劈頭を飾る。猪股博士は1986年日本で唯一人のフレンチメダル受賞者となる。

最初の橋梁に関する受賞論文「首都高速道路3号線(Ⅱ期)の片持式PCプレキャストブロック工法による高架橋の設計と施工」(1回1973論)に見るように、工期短縮や熟練労働者不足の対策にブロック製作と運搬・架設、および片持ち梁工法が研究されている。橋梁は長大化に向かい、「第2、第3阿武隈川橋梁の設計、施工について(1)、(2)」(1回1975論)の第2阿武隈川橋の支間105mはコンクリート鉄道橋として当時世界最大といわれた。「岩鼻ピーシートラスの設計と施工(1)、(2)、(3)」(3回1975論)は新幹線を通すコンクリートラス橋で、明快なトラスの形態と走行騒音の音質の改善と低減が画期的であった。「浜名大橋上部工の設計と施工について」(4回1976論)の中央径間長は当時世界最長といわれた240mと国内記録を10m更新。作品賞第一号の「速日峰橋」(5回1977作)は、上路式の吊床版橋という、アーチを上下に反転したかたち、たとえば、のちの「新生橋」(10回1982作)の水面に移る姿そのままのかたちに驚かされる。アーチ支間145mの「帝釈橋」(6回1978作)では、ピロン・メラン併用工法が初めて採用された。FIPのSpecial Mention Awardを受賞する。FIP(のちにfibも同様であるが)の構造物の表彰は、4年ごとに数件のみ厳選される。同年の神奈川県「三保ダム松ヶ山橋」(6回1978作)は、1径間で支間96mで、道路橋で初めての本格的PC斜張橋と長大化への意気込みが吐露されている。「久慈線小本川橋」(7回1979作)はわが国初の鉄道用PC斜張橋で二段のコンクリートの斜材を有する。「上越新幹線赤谷川橋梁」(7回1979作)は鉄道橋としてわが国最大の支間110mの逆ランガー形式アーチ橋と称するスイスのマイヤールを思わせるきわめてスレンダーなアーチに驚く。首都高速道路の「新山下橋」(7回1979作)は高速道路が都市の風景の一部になり新時代の息吹を予感させた。

材料の技術では、アンボンドPC工法の利用が世界的にも進展し、「アンボンドPC部材に関する一連の研究」(6回1978論)はわが国における利用拡大に寄与することになる。

3. 1980年代(第8回~第17回)

1980年代は、産油国の輸出制限への対策として省エネルギー、省資源への取組みが重視されつつも、日本列島を縦断する高速鉄道・高速道路や、1988年開通の本州四国連絡道路の建設が進む。

コンピュータ、とくにパソコンが急速に普及し、すべての産業に大きな影響を及ぼし始めた。建設分野では、大がかりな繰返し計算や収束計算、複雑な数値解析が可能になり、設計技術の向上と橋梁の長大化にも大きな影響を与えた。「材料特性を考慮したPC、RC構造の非線形動的解析」(11回1983論)や、「任意形コンクリート構造物のクリープ解析法に関する一提案」(15回1987論)がある。

「コンクリートバッチャープラント用PCバージ」(10回1982作)は、南北備讃瀬戸大橋の下部工工事に作られた。コンクリートバージの活用の点でアメリカ製のジャワ海ガス液化プラント搭載バージが想起される。「船川港曲面スリットケーソン式防波堤」(13回1985作)のスリットとは、防波堤に隙間を設け波力を減ずる機能を与える。エコフィスク

海底油田の消波式ケーソンなど海底油田からのガス、石油採取装置の開発が、北海、北極海、メキシコ沿岸、ジャワ海などを対象に展開され、着底式、浮体式の大規模コンクリート施設のための高強度高耐久性材料および設計の技術が欧米各国で画期的に進んだ。

「横浜ベイブリッジの基礎構造」(17回1989技)は、独創的な水上工事であった。フーチングの外殻がドライドックで製作・曳航・設置され、それを作業台として水中多柱式基礎の大口径杭が施工された。「道央自動車道錦岡3号橋」(11回1983作)は高速道路の跨道橋で、支間52mを含む2径間PC斜張橋。「新綾部大橋」(15回1987作)では中央径間110mと、PC斜張橋として初めて支間が100mを超え、「呼子大橋」(16回1988作)の中央径間は一気に250mに達した。PC斜張橋の魅力は国立公園にも好ましいのであろう、「志摩丸山橋」(17回1989作)が風光明媚な英虞湾に架けられた。「別府明礬橋」(17回1989作)のアーチ支間235mは、東洋最大規模といわれた。温泉の蒸気や硫化物の湧出の耐えない軟弱地盤上の基礎構造に特徴がある。九州縦貫自動車道の「中谷川橋」(16回1988作)はスパン100mの逆ランガー橋で、既設道路を斜吊カンチレバー工法で横過する。道央自動車道「石狩川橋」(17回1989技)は最大支間74mを有するPC5径間連続桁で、ゴム支承による反力分散化と橋梁の固有周期の長周期化が検討された。直路式の吊床版橋は、1969年に大阪万博会場にわが国で初めて竣工して以来、そのスレンダーな景観や優れた施工性から、数多く建設されるようになり、「梅の木轟公園吊橋」(17回1989作)では支間105mとなった。次の世代になると自碇式の吊床版橋が開発されるようになってゆく。この頃、桁橋の新しい技術として「外ケーブル構造」が登場したが、本格的に研究され、一般化するのは1990年代後半からであった。

材料分野では、塩害やアルカリ骨材反応による劣化が顕在化し、コンクリートの耐久性設計の検討が始まった。1984年には「塩害対策指針(案)同解説」が刊行された。建設省総合技術開発プロジェクト(当時)では「コンクリートの耐久性向上技術」の開発が進んだ。「30年経過したPC鉄道橋の経年特性について」(15回1987論)は、コンクリートの長期性状を知るうえで貴重な資料であった。

4. 1990年代(第18回~第27回)

1990年代初頭のバブル経済の崩壊にともなうわが国の財政悪化により、公共工事においても初期コストの縮減が強調されることになり、多くの技術開発に影響した。

「新鍛冶屋敷橋」(18回1990作)のリブ付きPC床版を有する1室箱桁断面の構造形式は、のちに新東名高速道路そのほかでのさらなる採用につながる。東名高速道路の当時の最大のPC斜張橋「東名高速道路(改築)東名足柄橋」(19回1991作)が箱根の山に現れる。旭川市の「ツインハープ橋」(19回1991作)は1本柱形式1面吊ハープ型で、桁の開口部を塔が貫通する特徴ある形態を有する。三重県青山高原カントリークラブの「亀甲橋」(19回1991技)は、三方向から中心に向かう直路式の吊床版橋で、ゴルファーに驚かされたことであろう。日本の橋梁で2回目のFIPのSpecial Mention Awardを受賞した。「池間大橋」(20回1992作)は沖縄の洋上を行く長大橋で、塩害対策が周到に施された。

この頃、大規模PC斜張橋の建設が続く。「青森ベイブリ

ッジ」(20回1992作)の支間は240m、桁高2.5mで、鉄道の上空を渡り、冬の厳しい津軽海峡を見晴らすPC斜張橋である。JR信越線を横過する上信越道、軽井沢の玄関口の「碓氷橋」(20回1992作)は支間110mの2径間、桁高2.5mの1面吊形式PC斜張橋、埼玉県「秩父公園橋」(21回1993作)は、支間195mの2径間、桁高2.8mの2面吊形式、大分県の国道326号に建設された「唄げんか大橋」(21回1993作)は、中央径間が170m、桁高1.7mのエッジガーダーのフローティング形式であり、佐賀県の「新渡橋」(21回1993作)支間93mの2径間、主桁が桁高1.2mのPRC構造など、PC斜張橋の構造形式にはさまざまな工夫が凝らされた。「北陸新幹線 霧積川橋梁」(22回1994作)は、支間51m、の方杖ラーメン鉄道橋でロアリング工法が珍しい。

「小田原ブルーウェイブリッジ(小田原港橋)」(22回1994作)はエクストラードード橋という英語の辞書ではわからない名称の、フランス人マティヴァの提唱によるとされる新しい構造形式の橋が日本で初めて建設された。支間122mと中規模ではあるが、日本の橋梁で3回目のFIPのSpecial Mention Awardを受賞した。これ以降、それまではPC斜張橋の支間領域であった150～200m程度の範囲において、「蟹沢大橋」(25回1997技)や「山陽自動車道 つくはら橋」(26回1998作)などの建設される道が拓かれた。ここでPC鋼材を桁の外に配置するには防錆が不可欠であり、エポキシ被覆ストランドが採用された。サドル構造の耐疲労性が課題となり、開発と実証の実験に関する受賞作品に、「小田原港橋におけるサドル構造に関する研究」(22回1994論)、「外ケーブル偏向部のフレッチング疲労特性に関する研究」(24回1996論)がある。

フランスで開発され注目された波形鋼板ウェブ橋は、わが国では新潟県の「新開橋」(21回1993技)に初めて採用された。波形鋼板ウェブ橋は、主桁重量の低減とプレストレスの効率向上に繋がる力学理由が明解で、以後画期的な普及を見ることになる。

「内外ケーブル併用プレキャストセグメント橋の概要と破壊試験 -松山自動車道 重信川高架橋-」(24回1996論)ではプレキャストセグメント工法に外ケーブル構造を併用したPC箱桁橋がスパンバイスパン架設工法により建設され、セグメントの軽量化がなされた。この年代のいずれの受賞作品も、以降の同種橋梁の設計・施工の礎となる知見が数多く得られている。東京湾アクアライン(1997年開通)および明石海峡大橋(1998年完成)などの大規模プロジェクトはこの頃である。

材料の技術では、グラウトの充填を確実にする技術、または、グラウトが不要な材料への希求が切迫していた。「アフターボンドPC鋼材の諸特性について」(18回1990論)で明らかにされたプレグラウト鋼材と呼ぶことになった製品が開発され急速に普及し始めた。PC関連基準としては、車両大型化に伴う道路構造令、車両制限令の改訂を受け、1993年(平成5年)には道路橋示方書でB活荷重が定義された。これに先立ち、「外ケーブルによるPC桁の補強効果に関する研究」(20回1992論)では、外ケーブルでプレストレスを与える補強効果について論じられるなど、補強分野においてPC技術のさらなる活用の検討が進められた。

帯広で行われた「プレキャストセグメント工法による跨高速道路橋の建設」(22回1994技)でPC斜材付き π 型ラメ

ンの施工法の改良案が示された。

「北陸新幹線 第2千曲川橋梁」(23回1995作)は、新幹線で初めてのPC斜張橋で、コンクリート鉄道橋としては当時国内最長スパン133.9mの2径間連続構造、同じく「北陸新幹線 屋代橋りょう」(24回1996作)は鉄道橋として初めてのエクストラードード橋であり、橋長696m、4+3+3径間で、最長スパンは105m、と鉄道での新たな構造形式の果敢な採用が続く(写真-1)。



写真-1 第23回作品賞(1995):北陸新幹線屋代橋梁

そして、1995年(平成7年)1月の阪神・淡路大震災。PC界は、産・官・学が協力して救援、復旧活動に非常事態体制で取り組んだ。ライフラインの復旧の繁忙のなか、PC構造の被害状況が持ち寄られ、調査結果が協会でもまとめられた。多くの被災例は、各機関や技術者・研究者らにより地震以前から進められていた耐震設計の継続的研究による知見に照らして外力と応答の関係が照合された。いくつかの地点で得られた地盤や構造物での加速度記録の最大値は、地域、地盤により大きく異なった。道路橋示方書の耐震設計編では、地震応答により構造物に発生する力を静的荷重で推定する場合の設計荷重が引き上げられ、多くの既存橋梁で耐震補強が必要となり、予算措置がなされ実施されていった。耐震に関する受賞作品が2件のみであるがPC関係者による被害の分析と設計の改善への志向が強まる。「PC鋼材巻付けによる耐震補強効果に関する実験的研究」(25回1997論)では、既設柱の外周部に細径のPC鋼より線を緊張巻付けする補強工法が提案され、種々の実験により挙動特性や補強効果が明らかにされた。「プレストレストコンクリート橋脚の耐震性に関する研究」(26回1998論)は、協会の重点研究課題で、橋脚軸方向のプレストレス導入量や付着・配筋の異なる供試体の正負交番載荷実験により、PC橋脚の耐震性能が明らかにされた。新設・補強を問わずPC構造による耐震技術の開発が進められてゆく。

国道241号の「十勝大橋」(23回1995作)は、支間251m、1面吊形式、鹿児島県の伊唐島を繋ぐ「伊唐大橋」(24回1996作)は、支間260m、と支間長の記録は伸びてゆく。「大芝大橋」(25回1997作)は、支間210mを桁高わずか1.31mのエッジガーダーで繋ぐPC斜張橋の特性を追求した構造形式で、シュライヒやワルターの挑戦に通ずるものを感じさせる。阪神高速道路の「新猪名川大橋」(25回1997作)は、支間198mの2径間連続の1主塔では最大規模。「東海北陸自動車道 本谷橋」(26回1998作)には、高速道路で初めて波形鋼板ウェブが採用された。「第2マンダウエ・マ

クタン橋」(27回 1999 作)は、支間が 185 m、フィリピンのセブ島と空港のあるマクタン島を結ぶエクストラードーズド橋で、空港の高度制限と航路制限の間で塔が低く長スパンが可能な構造形式が適した。「東海北陸自動車道 中西高架橋」(27回 1999 作)は、支間 75 m を含む 9 径間連続ラーメン橋で、橋脚は、水平力に対する剛性を減ずるため二枚壁とされた。帯広・広尾自動車道の「土狩大橋」(28回 2000 作)は、支承上の桁高は 6 m、支間 140 m を含む 5 径間連続のエクストラードーズド橋で連続した大偏心外ケーブルを箱桁内に併用している。

5. 2000 年代 (第 28 回～第 39 回)

この年代は、1990 年代後半から活発に進められてきたさまざまな新技術への取組みが成果を上げた。新東名・新名神高速道路の部分開通は逐次進められてゆき、多くの橋梁に画期的技術が結実した。しかし、2005 年、道路関係 4 公団民営化により高速道路株式会社各社の発足が断行され、日本道路公団は、西、中、東の 3 社と研究所に分断された。「民営化」と言うが民が自立して経営ができる法律になったのかは、政・官・学で長く激しく議論され、道路建設を司る PC 界にとって未曾有の問題をもたらしたことは周知のとおりであり、PC 関係者に、技術を超えて、しかし技術者なればこそできる手法による、社会資本整備の哲学の明示、という新たな課題を強いることになる。

この頃、長大なアーチ橋の建設が続いた。富山県の「立山大橋」(27回 1999 技)は、支間 188 m、メラン直吊一括架設工法により、宮崎県の「天翔大橋」(28回 2000 作)の支間 260 m は当時国内最長。福岡県の「隴大橋」(29回 2001 作)は支間 172 m、ともにメラン鋼材先行の斜吊工法によりそれぞれ建設された。宮崎県の「国見大橋」(31回 2003 作)は、支間 181 m、合成アーチ巻立て工法を採用した斜吊工法であった。

これらと同時期に、新東名・新名神高速道路の橋梁建設が活況を呈してゆく。「木曾川橋・揖斐川橋 (トゥインクル)」(29回 2001 作)は、連続エクストラードーズド橋で支間は 275 m、その中央部 90 m 区間に鋼桁を用いて死荷重を軽減し、支間長を伸ばしている (写真 - 2)。



写真 - 2 木曾川橋・揖斐川橋 (トゥインクル)

従来の PC 桁橋の最大規模の浜名大橋を凌ぐ径間長ながら、支点での桁高はほぼ半分減じられた。支間長を長く取

ること、工期を短くすること、橋脚基礎工事で河川を乱さないことは漁業の保護のために必要であった。主桁に約 350 個のセグメントを製作・架設するプレキャスト工法を採用し、高強度コンクリートや外ケーブルを用いることで軽量化を図っている。とはいえセグメントの重量は 400 t にもなった。鋼桁との接合部の疲労安全性は繰返し輪荷重載荷試験により確認された。四つの工区で 12 の企業体が協力し、技術が競われた。

耐震設計においては、建設地点に存在する活断層および歴史地震を特定し、各種地震動評価手法を用いて地震動を想定し耐震性を評価する方法が採用されている。剛性の高い橋脚に対し、地震時水平力や温度変化による応力を制御するような支承の構造概念、構造詳細、材料が研究された。

「都田川橋」(28回 2000 作)は、支間 133 m、2 径間連続エクストラードーズド橋で、高さ 56 m の橋脚は、鋼管柱を PC 鋼材で巻きコンクリートで包んだ鋼管・コンクリート複合構造を採用しており、地震力に対し高いじん性が期待される。「下関地方卸売市場 唐戸市場 市場棟、駐車場棟」(29回 2001 作)のプレキャストの斜ケーブル付き屋根ユニットは、エクストラードーズド橋の精巧なミニチュアのようにも見える。「酒田みらい橋」(30回 2002 作)は、フランスからもたらされた超高強度の材料、ダクタールを用いることで鉄筋は不要とし、通常の鉄筋コンクリートの橋桁のかたちに対する先入観を消し去り、橋桁の未来の形を現出させた。「日本・パラオ友好橋」(30回 2002 作)は、支間 247 m のエクストラードーズド橋で、スパン中央部を鋼桁としている点も含め、木曾川橋・揖斐川橋の先駆けを思わせる。「チルド橋建設工事」(30回 2002 施)は、支間 160 m のラーメン橋で、ジンバブエ・ザンビア両国を結ぶ生活・経済の要路を成す。

「中部国際空港連絡橋 (鉄道)」(31回 2003 作)は、伊勢湾を渡る 1 連と 4 径間 2 連からなる延長 1 076 m の PC 連続箱桁ラーメン橋で、プレキャストセグメント工法で架設した支間 100 m の鉄道橋としては国内最大規模である。海上というとくに厳しい腐食性環境下となるため、設計段階より、耐用年数 100 年を目標として、ひび割れ防止のための低熱ボルトランドセメントの採用、橋脚飛沫帯部への高耐久性埋設型枠の採用、橋面全面防水工、ポリエチレンシースの全面採用など、種々の検討が行われた。

「木ノ川高架橋」(31回 2003 作)は、フランスで出現したコンクリートウェブを鋼トラスウェブに置き換えた新しい鋼・コンクリート複合橋で、わが国で初めて採用された。ウェブの向こう側を見通せて、和歌山の緑豊かな田園に涼やかに収まる。「芝川高架橋」(31回 2003 作)は、コッハータール橋のような、箱桁の軽量化のために中心の箱を小型にし、張り出させた床版を斜めストラットで支える構造形式のわが国での嚆矢となった。中心の箱桁は横桁を介さず橋脚頭部に直結される。橋脚横寸法も極力狭められた。急斜面への基礎を筒型の壁で保護し、同時に土圧を保持して斜面の現況と植生保存が留意された。上部構造の改良が下部構造に連鎖波及し、基礎工、土工まで及び、全体経済性が大幅に向上した。83 m の橋脚には都田川と同じ鋼・コンクリート複合構造が用いられた。

「端部分離型上路式吊床版橋」(31回 2003 技)は岐阜ののぞみ橋で地盤にアンカーした橋台で当初の反力をとって吊床版と上路デッキを構築後、吊床版の反力を上路デッキに移し

替える方式が考案された。施工時は他碇式、完成時は自碇式となる。「第二東名高速道路 葦科川橋」(31 回 2003 施)は、鋼桁の PC 床版の現場施工において、ひび割れを出さぬよう施工のブロック分割と打設順序が精緻に計画された。「補助桁併用張り出し架設工法の開発と適用 はまゆう大橋建設工事」(31 回 2003 施)では、施工用の棧橋は設けず、橋脚で支えるガイドウェイで人員、資材を搬送する工事方式により浜名湖の水中環境が護られた。

「矢作川橋」(32 回 2004 作)は、わが国初の波形鋼板ウェブ PC・鋼複合斜張橋で、上下線 8 車線一体構造の一面吊構造は世界最大級といわれた。主塔の基礎を狭める必要が周辺状況にあったとされる。主塔形状は「水滴を模した柔らかな曲線」を用いることで周辺に調和するように設計で配慮され、施工では、年間数百万匹の鮎が遡上する河川内の工事であるため、工事期間中の水質汚濁防止や振動・騒音などを極力抑えるなど、周辺環境の保全に細心の注意が払われた。このように自然環境へ配慮した技術が設計・施工の両面で進展していった。

「第二東名高速道路 富士川橋」(32 回 2004 作)はアーチ橋で支間 265 m はわが国最大。「つくばエクスプレス (鉄道) PCU 型桁式高架橋」(32 回 2004 作)は秋葉原駅とつくば研究都市を繋ぐ有効快適な路線を現出した。JR 南武線 (神奈川) の「矢野口架道橋」(32 回 2004 技)は、スパン 58 m、スパンライズ比 1/7.5 の複線 3 主桁の PC ランガー橋。長崎自動車道の「日見夢大橋」(32 回 2004 作)は、中央支間 180 m、桁高 4 m、エクストラードード橋の利点と波形鋼板ウェブの利点を足し合せた構造形式で、わが国初の完工で、最先端の橋梁構造形式であるとともに、優美な姿と長崎市の住宅地の環境への負荷を減ずる配慮が随所に施された。「青雲橋」(32 回 2004 作)において開発者らの一連の上路式自碇式吊床版橋でスパン 92 m に到達した。徳島の山中のライフライン、生活、通学用の道路の一部を成す中規模の橋ではあるが、建設費の節約のための粋を尽くした技術に日本の橋梁で初めて *fib* の最高の荣誉、Outstanding Structure Award を授与された。鳥根県と鳥取県を結ぶ「江島大橋」(32 回 2004 作)は、浜名大橋を思わせる雄大な姿で、中央支間はやや長く 250 m に達した。「第二東名高速道路 天竜川橋」(33 回 2005 作)は、23 径間 1 585 m を連続させ、ゴム系免震支承を配し、クリープ乾燥収縮による内部応力を多数回の調整で解放させた。

「秋葉原駅西口交通広場歩行者デッキ」(33 回 2005 作)は国産の超高強度材料による歩道橋で、超高強度ならではのスレンダーな橋桁を現出した。新東名高速道路の「大平高架橋」(33 回 2005 作)は、箱桁の張出し床版長を長くできるよう横リブを付ける構造を採用し、押出し工法で架設された。「頭島大橋」(33 回 2005 作)は瀬戸内海の離島を結ぶライフラインを成すアーチ橋で、ここでも、建設予算は不足していた。その対策に、高強度材料の使用、ライズの低い構造形式、メラン鋼材をアーチリブ内空間の外側寄りに配置して施工の合理化が図られ、フローティング・クレーンによるメラン材の架設は、本州四国架橋工事の技術者との協働によって成された。

「高速 6 号清洲線 新名西橋工区 (エクストラードード橋)」(33 回 2005 作)は、のちに『断面分割』の用語が使われ出した工法の一例で、箱桁を縦に三分割し、中心の箱をまず橋

脚間に繋ぎ、これを架設桁として両脇の断面を繋ぐ。分割により、建設機材、各段階の作業を小規模化する狙いがある。市中の建設地点の交通阻害、大型建設機械の騒音振動排気ガスなど社会環境への負荷の低減へのひとつの解決方法が示された。「断面分割方式による PC 箱桁橋の押出し架設工法」(33 回 2005 技)の新東名高速道路 桂島高架橋は、箱桁の『断面分割』をさらに追求し、床版の横リブ、斜めストラット、波形鋼板ウェブ、床版用埋設パネル型枠などの構造要素で組み立てられている。

中央自動車道の「子野川橋床版改良工事」(33 回 2005 施)は、高速道路における床版の当初設計の天寿全う後への対応方法の、「関越自動車道 芋川橋 (PC 上部工) 災害復旧工事」(33 回 2005 施)は、中越地震 2004 にて被災した連続桁の鋼支承の修復の、それぞれの研究成果が反映されている。

「設計 VE による新技術の適用 第二名神高速道路 鎌ヶ瀧橋」(33 回 2005 論)、「鎌ヶ瀧橋」(34 回 2006 作)は、プレキャスト PC ウェブを箱桁に用いる構造で、フレシネによる古典のひとつマルヌ川 5 橋に起源がある。

「内牧高架橋」(34 回 2006 作)には、ストラット床版支持箱桁の独自の架設工法が考案された。市街地を離れた新東名高速道路の建設現場であっても、片側 3 車線の主桁を輪切りでプレキャスト製作すると重量が過大となり、『断面分割』が必要となるため、中心の箱桁をまず製作し、これを橋脚間で繋げたのち、両脇を作る種々の工法が開発されてきた。内牧の工法は、両脇を小型移動架設車で場所打ちで行う。なおこの工事現場は、特養ホームや天皇家用茶畑に接し施工管理はとくに厳密であったであろう。

ベトナムの PC 斜張橋「バイチャイ橋」(34 回 2006 作)の支間 435 m は、如何なる技術を以てすれば可能なのか畏怖するばかり、写真でしか知らないが圧倒的構造美がある。

「近江大島橋」(34 回 2006 作)は、構造形式は「日見夢大橋」と同じ波形鋼板ウェブとエクストラードード形式の複合で、*fib* の第一回 kongress に際し国際協調の象徴を地元関西にと、欧州生まれの革新技術・日本の施工・米国のデザインのコラボとして注目されていた。アメリカ女性のデザイン家による彫りの深い姿が、日本女性デザイン家による日見夢大橋の優美に較べられ、国内外の権威の評は概して厳しいものとなったが、一方、近年自動車のタイヤメーカーの新聞広告の背景に全紙大で採用され、信楽の森の上を滑空するような橋を渡る感覚が、Bridge in Flight、と表現されたデザイン家のねらいどおりになったのではなかろうか。思考過程が kongress 論文集 (*fib* 2002 Osaka) にあり、西欧人の記述に触れられる。

「徳之山八徳橋」(35 回 2007 作)は、水資源開発公団が徳山ダムを渡る橋に採用したエクストラードード橋で当時国内最長中央支間 220 m に挑戦した。「三兼池橋」(35 回 2007 作)はダクトルを用いた歩道橋で、直線だけが持ち得る美を超高強度材料が現出できることが示された。「山切 1 号高架橋」(35 回 2007 作)は、駿河湾を見下ろす山腹の集落、果樹園を縫う新・旧東名高速道路の連結路にあるが、地域の生産、生活を乱さぬための架設工法が研究され、橋台背面土工部を製作ストックヤードとし、プレキャストセグメントはリブ・ストラット構造、橋脚上の架設時基準となるセグメントの構造も工夫された。

「リバーサイド千秋連絡橋」(35 回 2007 技)は小さな歩道

橋ながら橋脚の耐震対策として4本柱であること、そのブレースの中心に延性に富む金属部材を配している構造が、スケールが大きく異なるがサンフランシスコ・オークランド・ベイブリッジの塔の構造概念を連想させる。「矢部川大橋」(36回2008作)はPC斜張橋の支間長国内記録を1m更新した。

波形鋼板ウェブの活用に進展があった。「鬼怒川橋」(34回2006施)は箱桁の波形鋼板ウェブを架設桁のように用い、上床版と下床版の打設時期をずらすことにより張出し架設の施工ブロックの重量を軽減し工費の節減につなげている。「新東名高速道路 赤淵川橋」(36回2008施)も類似の工法で支間92.5mが建設された。このような段階的施工の考えは、スイスのズンニベルク橋の張出し架設で、工費節減を追求し、エッジガーダーとスラブの打設時期をずらした考えとの類似を連想させる。北海道縦貫自動車道の「鳥崎川橋」(34回2006技)の押出し工法では、波形鋼板ウェブの下縁をダクトで補強してエレクションノーズに用い、そのまま本体の一部にした。新名神の「杉谷川橋(下り線)」(35回2007作)は、6径間連続ラーメン橋であり、下床版を波形鋼板ウェブの内側面に取り付け防錆対策を講じた。「東京国際空港国際線地区GSE(グラウンド サポート エクイップメント)橋梁」(36回2008作)は、航空機が移動する通路の補強に超高強度のダクトを用いたものであり、施工空間の制限の問題を超高強度材料で解決した。

この時代の世界不況の恒常化の対策に、アメリカは橋梁対策を含む公共投資を打ち出したのに対し、日本の公共事業関係費は毎年減少を続けていったことから、最速レベルの施工速度および大幅なコスト削減、維持管理費の低減に資する品質向上を同時に実現するため、PC構造物にも焦点があてられていった。

日本のPC技術は国内にとどまらず、大規模かつ多様な海外プロジェクトに貢献している。

産油国でのプロジェクトには他の地域にはない規模と活力に驚かされる。「ドバイ・メトロ高架橋」(39回2011作)は、全自動無人化運転として世界最長の74.7kmにおよぶ新交通システムのうち、述べ61kmにおよぶ高架橋を計画設計から営業運転開始までの56カ月で完了させるため、上部工のみならず、脚頭部にもプレキャスト工法を採用し、急速施工を可能にしている。また、塩害環境下で設計耐用年数100年を確保する方策の1つとして、高炉スラグとシリカ微粉末を混入させた密実性の高いコンクリートを上部工に使用している。さらに、橋体には曲面を多用するなどスマートなイメージを与えるための景観設計を採用しながら、プレストレスの導入、プレキャスト技術の活用により、構造の合理性と施工性も確保するなど、今後のPC技術、橋梁技術の発展に寄与することが期待される。

「コロラドリバー橋」(38回2010作)の長大なアーチによる、アメリカの雄大な自然のなか、不況救済公共事業の歴史的遺産であるフーバーダムへ天空から誘う道を日本の橋梁技術が支えていることは慶賀に堪えない。計画段階ではケーブル系の構造も候補にあったが、最終案がアーチに落ち着いたことは今後の構造選定の指向に一考すべきかも知れない。

「羽田空港D滑走路埋立/棧橋接続部 鋼管矢板井筒護岸プレキャストPC柱及びプレキャストPC桁を用いた消波護岸」(37回2009作)、「東京国際空港D滑走路の棧橋部」(38回2010作)、「羽田空港D滑走路棧橋部コンクリート床版の大規模急速施工」(38回2010施)は、滑走路が多摩川の河口の水流を乱さぬよう、鋼製の棧橋脚柱を建て、工場製作のダクト床版でデッキを造る構造が案出され、材料、設計、解析、施工それぞれの高度の技術が集結された。

新東名高速道路の「猿田川橋・巴川橋」(37回2009作)は、まだ数少ない構造形式の鋼トラスウェブ橋である。静岡の住宅街の奥まった山稜に添い、長大橋ながらウェブの透視性もあり里山の緑に合っている。新東名高速道路の「的場高架橋」(39回2011施)は、高速道路高架橋を、大規模ランプを含む入り組んだ線形による工事環境の制約、生態系保全の規制に対し、『分割施工』を工夫し、確実巧みに仕上げられた。

6. おわりに

社会資本を整備し、自然環境と社会環境の保全に資するPC技術が50年にわたり本工学会・各事業体・個人に広く蓄積され、次世代に継承されている。新しい発注形態の設計・施工一括発注方式(デザインビルド方式)や総合評価落札方式は、組織と個人の開発環境をさらに向上させるべきだろう。しかし新たな問題や課題が社会に生じ、PC技術者の使命は尽きない。

公共事業の流れの上流に閉塞感がある。揺るがされた公共事業の仕組み、公共発注機関が社会事業を自主・自立的に進める倫理をいかに護るか。事業の仕組みの定義に、1951年に日本に高速道路は必要と世界銀行に進言したワトキンス調査団による「自立、公共性、権威」(Autonomous Public Authority)があるが、古くはアダム・スミス、近くは池田尚治(横浜国立大学名誉教授)らの考究のもと、現代の知徳を集めて創造的な設計が待たれる。

地方自治体の努力について、徳島県山城町の青雲橋と岡山県日生町の頭島大橋に関して、高度なマネジメントが良い事業環境を創造し結実した例を見た。地域のコミュニティのライフライン建設費の構造的欠乏への解決策として、受注者の先端技術、発注者の果敢と事業者間での技術協力は、今後の事業の範となろう。

日本の企業による海外プロジェクトでは国内の水準を超える橋梁を建設し得る技術の証を見た。諸国民の技能志向と親和気質にわが国による事業が待たれている。しかし、国々の発注機関また協働する現地や多国籍の企業風土に対し、わが国の企業の対応に柔軟性が必要なこと、国際プロジェクトに特化する組織と技術者から学ぶべきことも多くあること、それらに応じて技術を後押しする力が必要と仄聞する。本稿では触れることはできなかったのも、いずれの機会にか、受賞作品海外編が当事者らによって編まれることを切望する。

本記事の担当委員、濱田啓司、池上浩太郎、伊藤朋紀、上原富士夫、保坂 勲、横山貴士、の諸氏からいただいた示唆は誠に有り難く厚く御礼申し上げます。

[2012年8月30日受付]