



▲ 不動大橋(群馬県)

#002 名橋をめぐって

【特別寄稿】

PC橋技術の変遷 2



東京工業大学名誉教授

にわ じゅんいち ろう
二羽 淳一郎

前回のPC橋技術の変遷1では、わが国PC橋の系譜に着目し、PC橋の黎明期から現在に至るまでを駆け足で回顧した。今回のPC橋技術の変遷2では、さまざまな方向に進化し、発展し続けているPC橋を取り上げて、その技術の実態を概観することにした。具体的には、さまざまな構造形式への発展、新素材や新材料の適用、プレキャスト化、景観・環境への配慮などの観点である。前回同様に、以降は土木学会田中賞、あるいはPC工学会の作品賞を受賞した橋梁の中から抜粋してPC橋の進化・発展を振り返ることとした。なお前回同様、以下では各橋の受賞年で記述する。



▲写真1 生口橋(広島県)



▲写真2 多々羅大橋(広島県)



▲写真3 木曾川橋・掛斐川橋(三重県)

PC橋の複合化

構造形式が桁橋から、斜張橋、エクストラードード橋へと発展していったことに関しては前回取り上げたが、今回は別の観点として、PCと鋼構造の複合化に注目したい。土木学会では、複合構造を合成構造(部材断面が異種材料で組み合わせられた構造)と混合構造(異種部材を継手によって接合した構造)に大別している。近年では、構造のさらなる合理化やコ

スト縮減を目指して、さまざまな複合構造橋が開発されている。

混合桁方式では、長大支間の中央径間に鋼桁を配置し、側径間にPC桁を採用した長大橋が建設されている。本州四国連絡橋のしまなみ海道に位置し、広島県の因島と生口島を結ぶ生口橋(1991年、写真1)は、橋長790m、中央径間490mの3径間連続複合斜張橋である。両島間の海峡である幅約500mの生口水路への架橋として、当初は最大支

間長250m程度のPCラーメン橋が予定されていた。しかし、海峡内の地盤が想定以上に軟弱であったため、計画が見直され、海峡内に橋脚を設置しない斜張橋が採用された。ただし、径間割がアンバランスとなったことから中央径間には軽量の鋼桁を、側径間には重量のあるPC桁を適用し、死荷重のバランスをとる複合斜張橋が建設されることとなった。しまなみ海道の多々羅大橋(1998年、写真2)も、混合桁方式の複合斜

張橋である。生口島と愛媛県の大三島間の多々羅海峡に架かる本橋は、橋長1480m、中央径間890mの長大斜張橋であり、建設当初は世界最長で、現在でもわが国最長の斜張橋である。側径間は生口島側270m、大三島側320mである。中央径間に比べて側径間が短く、さらに側径間自体もアンバランスであることから、生口橋と同じ理由で中央径間には軽量の鋼桁を、側径間には重量のあるPC桁が採用された。高さ220mの逆Y型の主塔はスレンダーで優美である。伊勢湾岸自動車道の本曾川橋・掛斐川橋(2001年、写真3)も混合桁方式の複合橋である。この隣接する二橋は愛知県と三重県の県境の本曾三川の河口部に位置している。本曾川橋は橋長1145m、最大支間275mの5径間連続、掛斐川橋は橋長1397m、最大支間271.5mの6径間連続の複合エクストラードード橋である。主桁を軽量化するため、支間中央部には鋼桁が使用されている。一方、橋脚の周囲にはPC桁が使用されているが、工期の短縮を図ることと、本曾三川の河口部に近く、大型のプレキャストセグメントを舟運可能であることから、重さ400tを超える大型プレキャ

ストPCセグメントが大量に使用されたことが特筆される。

同一断面内にコンクリートと鋼材を併用した複合構造の橋梁として、複合トラス橋が建設されている。これはPC箱桁橋のウェブを鋼トラス部材で置き換えたものであり、主桁の軽量化を図るものである。当初、フランスで実用化された複合トラス橋であるが、2000年代になってわが国でも建設されるようになった。



▲写真4 木ノ川高架橋(和歌山県)

木ノ川高架橋(2003年、写真4)、猿田川橋・巴川橋(2009年、写真5)、不動大橋(2010年、写真6)などである。木ノ川高架橋は那智勝浦新宮道路が和歌山県新宮市で二級河川・佐野川の支流である木の川と交差する位置に建設された4径間連続鋼コンクリート複合トラス橋であり、複合トラス橋としてはわが国最初のものである。橋長は268mで最大支間は85mである。上下のコン



▲写真5 猿田川橋・巴川橋(静岡県)

クリート床版を、格点部を介して鋼管トラス部材でつなぎ、床版内に配置された内ケーブルに加えて、橋軸方向に外ケーブルを配置している。なお、本橋では供用後、格点部や偏向部にひび割れが発生している。原因としては、温度変化やコンクリートの収縮などが考えられるが、今後モニタリングしていくことが肝要である。

猿田川橋・巴川橋(上り線)は、静



▲写真6 不動大橋(群馬県)

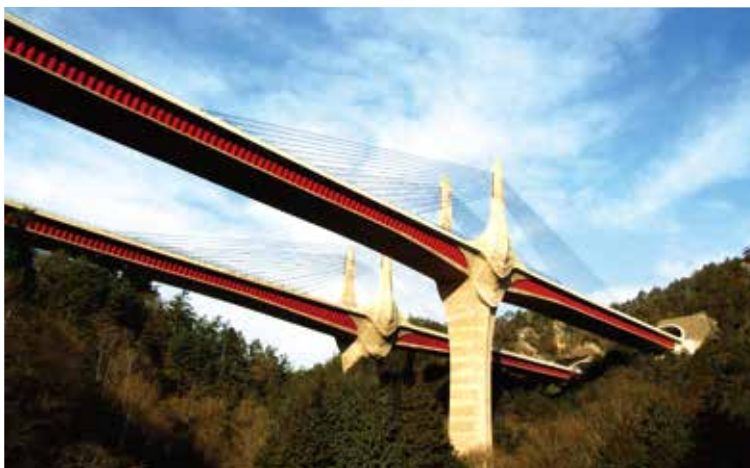
岡市街の北側を通過する新東名高速道路の橋梁であり、それぞれ7径間連続、5径間連続の複合トラス橋である。猿田川橋は橋長610mで最大支間が110m、巴川橋は橋長479mで最大支間が119mである。ウェブには鋼管トラスが使用され、主桁の軽量化が図られている。さらに、下り線では4主構であったトラスを、上り線では3主構に低減した他、格点部には改良版の二面ガ



▲写真7 本谷橋(岐阜県)



▲写真8 日見夢大橋(長崎県)



▲写真9 近江大鳥橋(滋賀県)



▲写真10 生野大橋(兵庫県)



▲写真11 豊田アローズブリッジ(愛知県)

セツト構造を適用している。ウェブの透過性が向上した結果、景観性が向上し、軽快な印象を与えることに成功している。不動大橋は、群馬県長野原町に建設された八ッ場ダムの湖面橋である。八ッ場ダム建設工事が中止されていた時期に、ダム建設工事中止の象徴としてテレビで度々映し出されていたことから記憶されている方も多いと思われる。本橋は橋長590m、最大支間155mの5

径間連続鋼コンクリート複合トラス・エクストラードーズド橋であり、複合トラスとエクストラードーズド橋を組み合わせた、チャレンジングな構造となっている。その結果、支間長155mに対して、桁高6mと非常にスレンダーな構造を実現している。複合構造で最近多用されているものに、波形鋼板ウェブを用いたPC箱桁橋がある。この構造も当初はフランスで実用化された。しかし現在

ではわが国において200橋以上の実績がある。PC箱桁のウェブを波形鋼板とすることで、自重を軽減できることに加えて、波形鋼板の使用によりウェブのせん断抵抗を維持したまま、橋軸方向のプレストレスを上下のコンクリート床版に効率的に導入できる。このような種々のメリットにより、本構造形式が採用されている。代表例として、本谷橋(1998年、写真7)、日見夢大橋

(2004年、写真8)、近江大鳥橋(2006年、写真9)、生野大橋(2018年、写真10)、豊田アローズブリッジ(2004年、写真11)を取り上げることとする。
本谷橋は、岐阜県高鷲村に建設された東海北陸自動車道の橋梁で、橋長198m、中央径間97mの3径間連続波形鋼板ウェブPC橋であり、この形式の橋梁としては初めて本格的な片持ち張出し架設工法が適用され

た。また、コンクリート床版と波形鋼板の接合部のディテールが構造上のポイントとなるが、本橋では鋼板に設けた鉄筋孔を通した貫通鉄筋と橋軸方向の接合棒鋼を併用した埋込み接合が採用されている。日見夢大橋は、長崎多良見ICと長崎芒塚IC間に建設された長崎自動車道の橋梁で、橋長365m、中央径間180mの3径間連続波形鋼板ウェブPCエクストラード橋である。波形鋼板ウェブとエクストラード橋の組合せとしては世界初であった。この組合せにより主桁の軽量化を図ることができ、支間長180mに対して桁高4mと非常にスレンダーな構造を実現している。斜材の定着部には波形鋼板ウェブと溶接によって一体化した鋼製ダイヤフラムを配置し、十分な安全性を確保している。近江大鳥橋は、新名神高速道路の大江JCTと信楽IC間に位置する、4径間連続(上り線)および5径間連続(下り線)の波形鋼板ウェブPCエクストラード橋である。橋長は495m(上り線)および555m(下り線)で、最大支間は170m(上り線)および160m(下り線)である。本橋は県立自然公園内に位置することから自然環境と調和した景観設計がなされた。主塔と橋脚は鶴が翼を広げて飛翔する姿を



▲写真12 赤谷川橋りょう(群馬県)

モデルとしている。さらに周辺地山に露頭している風化花崗岩の色調を考慮してベージュ色のカラーコンクリートが使用された。また、その色合いとの調和を考慮して波形鋼板も朱色に着色されている。生野大橋は、新名神高速道路とJR福知山線が交差する神戸市北区生野に位置する橋長606m、最大支間188mの7径間連続波形鋼板ウェブPRCエクストラード橋である。将来の6車線化を考慮して、斜材は一面吊り構



▲写真13 別府明礬橋(大分県)

造となっているが、波形鋼板ウェブエクストラード橋への一面吊り斜材の適用は国内初である。豊田アローズブリッジは、新東名高速道路と東海環状自動車道との共用区間である豊田JCTと豊田東JCT間に建設された4径間連続の波形鋼板ウェブPC・鋼複合斜張橋である。橋長は820m、最大支間は235mであり、波形鋼板ウェブを有する斜張橋として世界最長である。上下線一体の主桁総幅員43・8mは



▲写真14 池田へそっ湖大橋(徳島県)

国内最大規模であるが、これを斜材により一面吊りしている。逆Y型の主塔はコンクリート製で高さは109・6mとこれも国内最大である。

さまざまな橋種への展開

PC橋は桁橋を中心に発展したが、それ以外にもさまざまな橋種に展開している。例えば、アーチ橋は主部材であるアーチリブは圧縮部材である



▲写真15 コロラドリバー橋(アメリカ・ネバダ州)



▲写真16 青雲橋(徳島県)



▲写真17 鳴瀬川橋りょう(宮城県)

ので、プレストレスを導入する必要はなく、PC橋の範疇には入らないとする考え方もあるが、PC橋の架設工法と同様な片持ち張出し架設が適用されることや補剛桁にはプレストレスが導入されることなどから、広義にはPC橋とみなすこともできる。ここでは、赤谷川橋りょう(1979年、写真12)、別府明礬橋(1989年、写真13)、池田へそつ湖大橋(1999年、写真14)、コロラド

リバー橋(2010年、写真15)を取り上げることとする。赤谷川橋りょうは、上越新幹線の高崎―上毛高原間で赤谷川と交差する位置に建設された逆ランガー形式のアーチ橋で、橋長298m、アーチ支間126mである。補剛桁は5径間連続PC箱桁であり、アーチリブは片持ち張出し架設されている。別府明礬橋は、東九州自動車道が別府市郊外の明礬温泉を横過する箇所に建設されたRC

固定アーチ橋で、橋長411m、アーチ支間235mの長大アーチ橋である。アーチリブの施工にはトラス材を用いた張出し架設工法とメラシ工法が併用された。補剛桁はPRC構造である。強酸性の温泉地帯での工事となり、コンクリートの耐久性向上のため、増厚とエポキシ樹脂モルタルによる防食が行われた。池田へそつ湖大橋は、徳島自動車道が徳島県池田町で吉野川と交差する位置に

建設された逆ランガー形式の5径間連続PCバランスドアーチ橋である。橋長705m、アーチ支間200mの長大アーチ橋であり、アーチリブ、補剛桁ともに片持ち張出し架設された。コロラドリバー橋(供用後は、マイクオキヤラハンパットテイルマン記念橋)は米国ネバダ州とアリゾナ州の州境でフーバーダムに近接し、コロラド川に架かる上路式固定アーチ橋で橋長は578m、アーチ支間は323mと北米最大の規模を誇る。施工はわが国の建設会社が担当した。アーチリブはピロン柱からの斜吊り張出しにて架設されたが、橋脚はプレキャストセグメントをPC鋼材で連結して急速施工された。

吊床版橋は、アーチ橋を上下反転させたようなユニークな形状を有している。橋台間に張り渡したPC鋼材をコンクリートで巻き立てて床版とし、その上を直接通行できるようにした直路式の他、床版上にストラットを設けて路面となる上床版を支える上路式や、吊床版を主桁に定着し、吊床版に作用する水平力を主桁に負担させる自碇式などの構造がある。青雲橋(2004年、写真16)は徳島県山形町の銅山川に架かる橋長97m、吊床版支間90mのPC吊床版を利用した自碇式複合トラス橋であり、オレンジ

色の鋼管トラスが美しい。
 フィンバック橋は、箱桁のウエブを上方に伸ばして翼壁とし、ここにPC鋼材を配置した橋梁である。主桁に作用する曲げモーメントに対して、PC鋼材の偏心量を大きくでき、主桁の高さを抑えることができる。魚の背びれ (back fin) からきた名称である。宮城県東松島市に位置するJR仙石線の鳴瀬川橋りょう (1999年、写真17)は橋長488・



▲写真18 内牧高架橋(静岡県)

9 m、最大支間85 mの6径間連続PCフィンバック橋であり、その独特な形態が特徴である。本橋は東日本大震災時の津波にも流出することなく、原形を保った。
PC橋の将来
 社会インフラの重要性を考えると今後さまざまなPC橋が建設されていくものと思われるが、そのキー



▲写真19 酒田みらい橋(山形県)

ワードとしては、プレキャスト化、新材料・新素材、環境・景観などが浮かんでくる。新東名高速道路の内牧高架橋(2006年、写真18)は静岡市内で内牧川と交差する位置に建設された21径間連続PC箱桁橋であり、橋長は1048 m(上り線)および1024 m(下り線)で、最大支間は53 mである。ここではプレキャストセグメント工法が大々的に適用された。本橋は有効幅員16・5 mであり、



▲写真20 寺迫ちょうちょ大橋(宮崎県)

通常であれば2室箱桁となるが、合理性や経済性を追求し、ストラットで張出し床版を支える1室箱桁構造が採用された。さらに1スパン約50 mの箱桁を、16個のプレキャストセグメントを連結して架設するスパンバイスパン工法が適用された。
 酒田みらい橋(2002年、写真19)は山形県酒田市の新井田川に架かる橋長50・2 m、支間49・4 mの単径間PC箱桁歩道橋である。箱桁



▲写真21 新名神武庫川橋(兵庫県)



▲写真22 各務原大橋(岐阜県)



▲写真23 別荘谷橋(徳島県)

にはわが国で初めて超高強度繊維補強コンクリート(UFC)が適用された。UFCを活かした薄肉部材(上床版厚5cm、ウェブ厚8cm)の使用やウェブに設けた円形開口部など、斬新で特徴的な橋梁となっている。寺迫ちようちよ大橋(2013年、写真20)、新名神武庫川橋(2016年、写真21)はいずれもバタフライウェブを使用したPC橋である。寺迫ちようちよ大橋は、東九州自動車

道が宮崎県日向市で田久保川と交差する位置に建設された10径間連続PC箱桁橋であり、橋長712・5m、最大支間87・5mである。蝶形のプレキャストコンクリートパネルを工場で作製して、これを箱桁のウェブに使用している。その結果、完成後はウェブにダイヤモンド形の開口部が形成される。蝶形のプレキャストパネルには鋼繊維を混入した高強度コンクリートが使用され、さら

にプレテンション方式のPC鋼材が配置されており、厚さは150mmに抑えられている。これによる主桁の軽量化により、1回の片持ち張出し長さを伸ばすことができ、施工ブロック数を減少できるので、施工速度を向上できる。また完成後の箱桁内は自然光によって明るく、維持管理や点検も容易である。新名神武庫川橋もバタフライウェブを使用した橋梁である。本橋は新名神高速道路が神戸市北区で武庫川と交差する位置に建設された5径間連続PCエクストラードバタフライウェブ橋であり、橋長は442・2m、最大支間は100mである。バタフライウェブとエクストラード橋の組合せは世界で初めてである。各務原大橋(2013年、写真22)は、岐阜県各務原市で木曾川を渡河する橋長594m、最大支間60mの10径間連続PCフィンバック橋である。各務原市の北側に位置する岐阜市街や遠望される周辺の山並みとの景観上の調和が強く考慮され、丸みを帯びた形状の翼壁を有するフィンバック橋となっている。主桁の箱桁も曲面を多用した形状である。車道の両側に設けられた歩道には木曾川の風景を楽しめるような展望バルコニーが設けられ、さらに夜間はライ

トアップされて本橋の特徴を際立たせている。別荘谷橋(2020年、写真23)は、徳島自動車道の土成ICと脇町IC間に位置する橋長26・55m、支間25・5mの単径間バタフライウェブ箱桁橋である。本橋の最大の特徴は、PC鋼材や鉄筋などの鋼材を一切使用せず、アラミドFRPロッドを使用している点であり、これにより鋼材腐食に起因する耐久性の低下を回避している。プレキャストバタフライウェブと上下の床版を工場で一体化してセグメントを製作し、これを現地に運んで、アラミドロッドを使用した外ケーブルによってプレストレスを導入し、一体化している。橋の内部に腐食因子を含まないことから、究極の耐久性向上技術であるといえる。

終わりに

2回にわたり、さまざまな観点から、PC橋技術の変遷を概説した。これからも重要な社会インフラとして、PC橋の果たす役割が重要であることに疑いはなく、さらに今後はカーボンニュートラルを踏まえた技術開発も強く求められることになるであろう。PC橋技術の一層の発展を期待したい。