

道路における PC 橋の歴史

— 高速道路を主として —

小川 篤生*¹

1. まえがき

わが国最初の PC 橋として昭和 26 年に長生橋が造られた。その後急速な発展を遂げてきたことは皆さんがご存知のとおりである。この半世紀の間に支間長が長生橋の 3.5 m から、新名神高速道路木曾川橋の支間長 275 m と、大きな飛躍がなされてきた。また構造形式も単純な桁形式から、最近では複合構造やエクストラードズド橋など、より複雑な構造形式も建設されるようになった。このように急速な発展を可能にしたのは、コンピュータの発達や解析技術、ならびに施工技術・機械の発達も大きいですが、それらの発達を促した技術者の絶え間ない努力も重要な役割を果たしてきた。

具体的には、さまざまな厳しい架設条件にも適応すること、また道路橋として重要な走行性を向上させること、より耐久性が高く維持管理が容易な構造物を造ること、架設される周囲の景観に適合した橋梁景観を有すること、さらにはそれらを満足させながらコストを縮減していくなど積極的な取組みがなされてきた。

ここでは、各年代における代表的な橋梁とその技術の発展の原動力となった背景について振り返ってみる。なお、私は主に高速道路の建設に携わってきたことから、高速道路橋についての記述になることをご容赦いただきたい。

2. 昭和 30 年代

日本最初の高速道路である名神高速道路の建設が始まり、そして完成した時代である。この時代は技術には試行錯誤の時代でもあった。とくに PC 橋は日本に導入されて間もないことから技術も未熟であり、採用される形式は単純桁が主なものであった。その中でも特筆すべき試みとしては、高速道路の走行性を良くするために、連続桁形式を試みたことであろう。

代表的な PC 橋として、中央支間 60 m の名神釈迦ヶ池橋（昭和 37 年）がある（写真 - 1）。この橋では支保工による

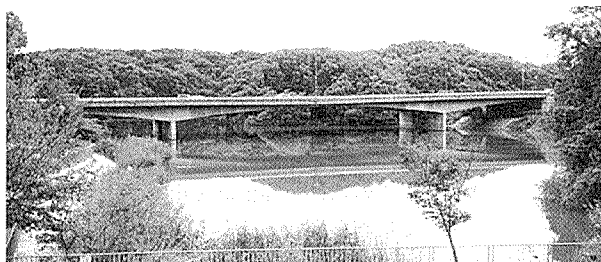


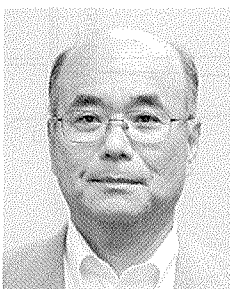
写真 - 1 釈迦ヶ池橋

カンチレバー工法が用いられたが、開通後センターヒンジ部の垂れ下がりが見られた。このセンターヒンジ付き PC 橋はヒンジのない連続桁に比べてコストが 10 % ほど安いこともあり、その後の長大橋に多く用いられたが、高速道路ではセンターヒンジ部の垂れ下がりによる走行性の問題と維持管理の手間を嫌い、東北自動車道八幡平橋（昭和 58 年）を最後に用いられなくなった。

その他、PC 連続橋としては名神水無瀬川橋がある。この橋では走行性を良くするために連続桁形式を採用しているが、PC ケーブルを中間定着した付近にひび割れが生じたため、その後補強が必要となった。ちなみに、この水無瀬川橋は、名神高速道路の拡幅工事において撤去・再構築されている。

名神高速道路の後期である昭和 38 年には、ヤードで製作した桁の上に RC 床版を打設した 3 径間連続合成桁の愛知川橋が施工された。それまで採用していた T 桁橋はクリープによる変形が供用後に生じるため走行性に難があり、それを解決する手段として合成桁形式としたものである。PC 合成桁形式は、以降建設されるスパン 30 m 程度の橋梁の標準的な形式として全国的に展開されるようになった。

新しい形式として、現在でも跨道橋として標準的な形式である PC 斜材付き π 形ラーメン橋（写真 - 2、変形斜 π ）

写真 - 2 PC 斜材付き π 形ラーメン橋

* Atsuo OGAWA

西日本高速道路(株) 常務執行役員

が造られた。この構造形式は現在でもほとんど当時と基本的には変わっていないほど洗練された形式である。あえて変わった点を探すと、当時は盛土区間の本線橋としても使われていたが、橋台付近での土工部での処理に難点があるため、盛土部の本線橋では採用されることがなくなり、現在では切土部の跨道橋にのみ採用されていることくらいであろう。

3. 昭和 40 年代～ 50 年代前半

昭和 40 年代前半は、東名高速道路と中央自動車道の建設が最盛期となった時代であるが、高速道路の PC 橋には目をみはるような斬新な構造の橋はあまり建設されていない。

代表的な PC 橋として、東名川音川橋（図 - 1）が昭和 44 年に完成している。この橋は、等桁高を用いて連続性を強調することによって景観を良くするとともに、センターヒンジを設けずに走行性を良くした T ラーメン構造の PC 箱桁形式となっている。

中小橋において連結桁が施工され始めた。PC 連続合成桁は床版の分割施工や支承の盛替えなど施工の繁雑さがあるため、PC 単純桁をゴム支承上に架設して、桁端を PC 鋼材でヒンジ結合させ、鉛直荷重に対しては単純桁として働き、水平荷重に対しては連続桁として機能する連結桁形式が採用されるようになった。

一般有料道路で建設された海洋架橋においては、カンチレバー施工による長大支間 PC 箱桁橋の建設が最盛期を迎えている。その一例として、支間 160 m の天草 3 号橋が昭和 41 年に完成している。

昭和 40 年代後半は、新規五道が本格的に建設され始めた時代であり、各地で大量の PC 橋を建設するために、引き続き標準的な橋が施工されることが多くなった。

高速道路橋において採用事例が多くなった構造としては、

走行性を重視したセンターヒンジのない PC 連続箱桁がある。

支間 115 m の中央道与田切橋や、支間 86 m の中央道太田切川橋（昭和 49 年）（図 - 2）、支間 80 m の中国道武庫川橋（昭和 50 年）など、その後高速道路橋として多くの橋梁にこの形式が採用されたが、支承のコストが大きいことが課題として残ることになった。

一般有料道路においては、カンチレバー施工による長大支間 PC 箱桁橋（センターヒンジ付き）が相次いで完成している。その代表的な橋として中央支間 230 m の浦戸大橋が昭和 47 年に、また昭和 51 年には、浜名バイパスの浜名大橋（写真 - 3）が完成し、当時の世界一の支間 240 m を誇った。浜名バイパスの取付け部では連続 PC 箱桁橋が移動支保工で施工された。移動支保工は施工中に桁下空間の利用が比較的自由になることや、上屋がある作業スペースが取れ、繰返し作業であることから作業品質が良くなることなど利点も多く、ある程度の規模があれば、コスト的にも採用が可能となり、その後、北陸自動車道金沢高架橋、北海道縦貫道北郷高架橋、東京外環など各所で採用されている。

引き続き、昭和 50 年代前半は新規五道の建設が最盛期となり、横断道の一部も工事が始まった時代である。この時

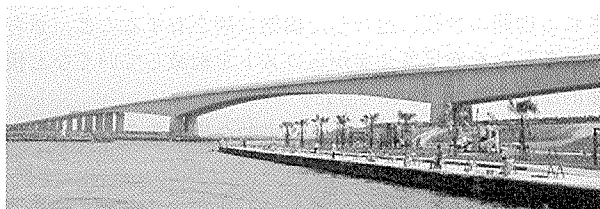


写真 - 3 浜名大橋

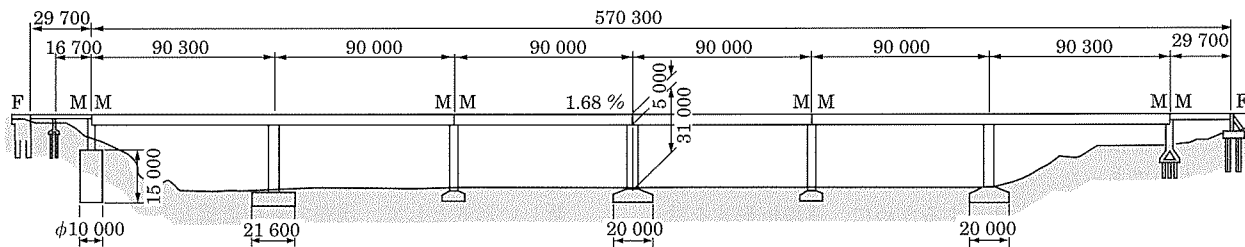


図 - 1 川音川橋

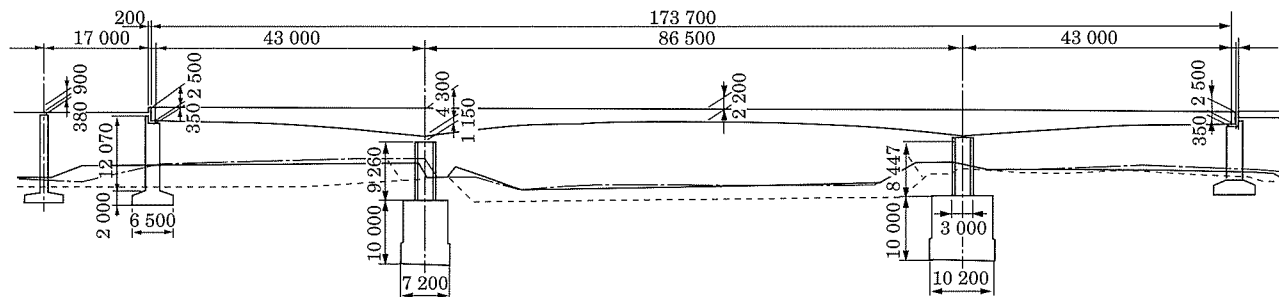


図 - 2 太田切川橋

代に新しく登場した施工方法として、押し出し工法がある。橋台の後方で桁を製作し、順次桁を押し出して工法であることから、橋の桁下空間の状況に左右されずに架設ができる長所があるが、コストの関係で適用できる支間に制限があり、高速道路では数多くは採用されていない。高速道路での最初の適用例としては、九州横断自動車道鈴田橋（昭和55年）がある。

PC連結桁についても工夫が重ねられている。九州縦貫自動車道の古川3号避溢橋（昭和47年）においてプレテンション桁をRC構造で剛な連結とした構造を初めて採用し、昭和50年代には、小田原厚木道路の金目川橋においてポストテンション桁でRC構造を用いた連結構造を採用している。

4. 昭和50年代後半～60年代初め

この時代は、横断道路の建設が最盛期の時代である。

連続PC箱桁橋のコスト縮減と耐久性向上を図るために、比較的高い橋脚を有する橋梁において、高橋脚の可撓性を利用した連続ラーメン橋が九州横断自動車道鈴田橋（昭和55年）で初めて採用された。その後、常磐自動車道鮎川橋（昭和60年）や中央道長野線の岡谷高架橋（昭和61年）（写真-4）など、山間部に建設される支間100m程度の橋梁において数多く採用される形式となった。加えてこの形式は名古屋二環など比較的地盤が柔らかい都市部においても基礎工の変形を考慮することで構造形式が成立することから、都市内高速でも採用されることが多くなり、建設費や維持管理費の軽減の面から、高速道路橋の代表的な形式となっている。

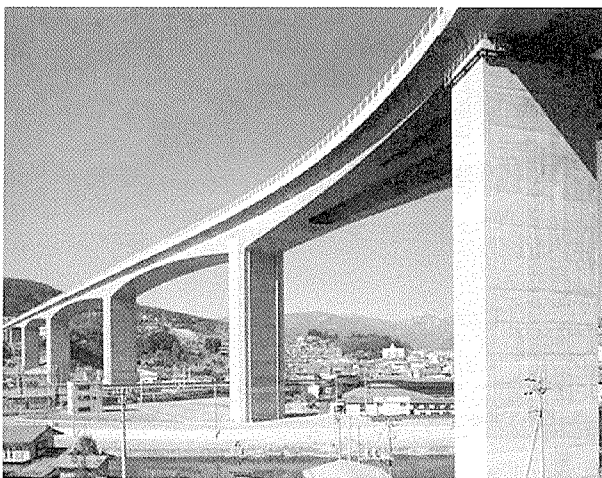


写真-4 岡谷高架橋

一方、この時代にPC橋の先駆的な形式として採用され始めた構造がPC斜張橋である。コンピュータの発達に伴って、構造計算能力が飛躍的に向上したこともあり、各地で盛んに建設されるようになり、一種ブームの感があった。日本道路公団として初めて建設したPC斜張橋は、道央自動車道のオーバブリッジの錦岡3号橋（昭和58年）である。本線橋としては、東名高速道路の拡幅工事で東名足

柄橋（写真-5）が平成3年に施工されている。この橋は、供用中の東名高速道路を斜めに交差するために中央径間を185m確保しなくてはならず、また東名高速道路を走る車両のドライバーに圧迫感を与えない形式であることを要求されたことからPC斜張橋が採用されている。

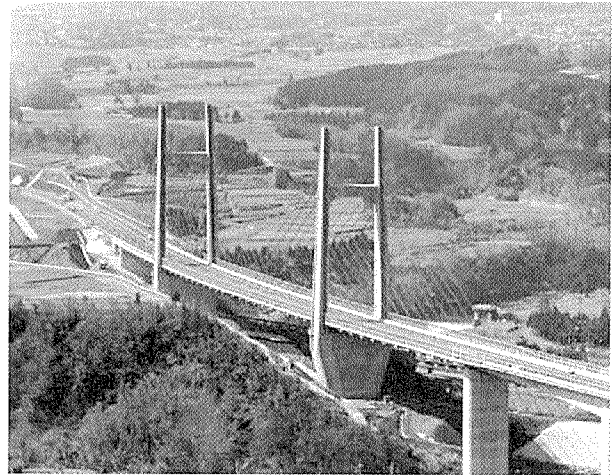


写真-5 東名足柄橋

また、この時代に研究開発された構造としてPRCがある。このPRCは従来のPCとRCの両者の特徴を生かすことができるために、より合理的でかつ経済的な設計が可能となった。PRC構造が高速道路で最初に採用されたのが常磐自動車道中郷SAランプ橋（昭和63年）である。平成3年にはPRC構造を初めて連続桁へ適用した舞鶴自動車道観音寺高架橋が完成している。従来採用例の多かったRC高架橋の最大適応支間が18m程度であること、またRC構造では応力ひび割れを防ぐ手段としては計算で算出する鉄筋の応力を制限するしかなかったことに対して、PRCは適用支間の順応性が良いこと、プレストレスによりひび割れ抑制ができることなどから、現在では高速道路のもっとも標準的な形式となっている。

5. 平成初期

橋脚高が低い橋梁においても、ジョイントを少なくするために連続径間数を増やす工夫として、ゴム支承を用いた水平反力分散構造が道央道の石狩川橋（平成2年）に初めて採用された。このような反力分散構造は、とくに阪神大震災後にゴム支承が積極的に使われるようになったこともあり、今では一般的な形式となっている。

この時代に登場した代表的な形式としてエクストラードロード橋がある。この形式は桁橋と斜張橋の適用範囲の間を補完するものとして考えられたものである。エクストラードロード形式を提案したのはフランスのMathivat教授であるが、それを世界で初めて実現したのは、西湘バイパスの小田原ブルーウェイブリッジ（写真-6）である。エクストラードロード形式の利点は、

- ① PC斜材の設計荷重作用時における許容引張応力度をPC鋼材の引張強さの60%としたことにより、コスト

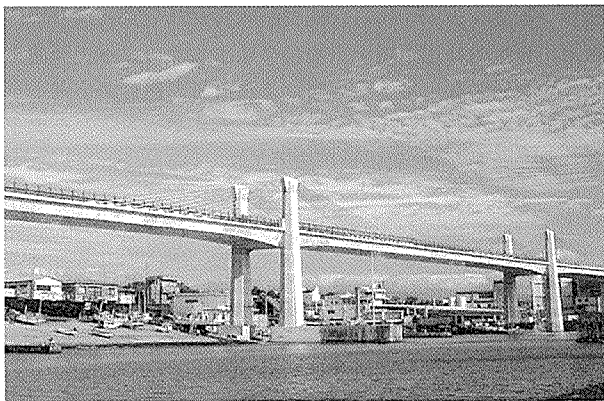


写真 - 6 小田原ブルーウェイブリッジ

ダウンできること。

- ② 中間タワーが低くてすむことから、将来の維持管理が比較的容易であること。

などがあげられる。このことから、その後の高速道路では多く採用されることになった。

6. 平成 5 年以降

平成 5 年から平成 11 年にかけて、第二東名高速道路と第二名神高速道路のビッグプロジェクトが着手された。この高速道路は車両の高速走行安全性を担保するために、区間によって幾分変わるものの最急縦断勾配が 3%，平面最小半径が 2 000 m と、それまでの高速道路より高規格な値を用いていたため、トンネルや橋梁など構造物の本線に占める比率が高くなってしまった。第二東名や第二名神以外にも、将来の交通量が比較的少ないと思われる地方部の高速道路も着手されるようになった。その結果、構造物の中でもとくにコストが高い橋梁の大幅なコストダウンが最大の命題となった。

また、最初の高速道路である名神高速道路が供用してから 30 年経つとともに、全国の高速道路供用延長も 6 000 km 程度と増加したこともあって、橋梁の耐久性向上も大きな課題として考えられるようになった。このような状況下から、それまでの橋梁構造にとらわれない新しい発想が求められた。

この時期の新しい構造の代表として、鋼橋においては PC 床版をもつ少数桁橋がある。この形式は、それまで RC 床版の支間を短くするため多主桁にしていたものを逆の発想で耐久性向上とコスト縮減を図ろうというものであった。

PC 橋においても各種の取組みがなされた。コスト縮減のために複合構造を積極的に採用し、また耐久性を向上させるために PC グラウトの確実性を担保するプレグラウト PC 鋼材やアウトケーブルの採用などを行った。そのほか、適用条件が許せば、プレキャストセグメント構造の採用も積極的に取り組んだ。

それぞれの取組みについて以下に述べる。

6.1 複合構造

PC 橋としての代表的な複合構造として、波形鋼板ウェブ PC 箱桁橋がある。この形式はフランスで開発されたもので、

平成 5 年に国内で初めて新潟県の新開橋で採用され、平成 8 年には秋田県の銀山御幸橋で 5 径間連続橋として建設されていたが、まだ採用例は少数であった。高速道路での最初の取組みは東海北陸自動車道の本谷橋（3 径間連続ラーメン橋）（写真 - 7）である。その後活発な研究開発が行われ、平成 13 年に建設された東九州自動車道前谷橋では全外ケーブル構造での張出し架設が行われた。また、張出し架設時に波形鋼板を先行架設してサイクルタイムの短縮化とワーゲン設備の簡素化（新名神信楽第七橋 平成 16 年）を図ったり、本体構造である波形鋼板を押し出し架設時の手延べ桁として代用（北海道縦貫自動車道鳥崎川橋 平成 18 年）するなど、各種の工夫がなされている。更なる試みとして、波形鋼板ウェブ構造はエクストラード橋にも適用されている（長崎道日見夢大橋 平成 16 年）（写真 - 8）。



写真 - 7 本谷橋

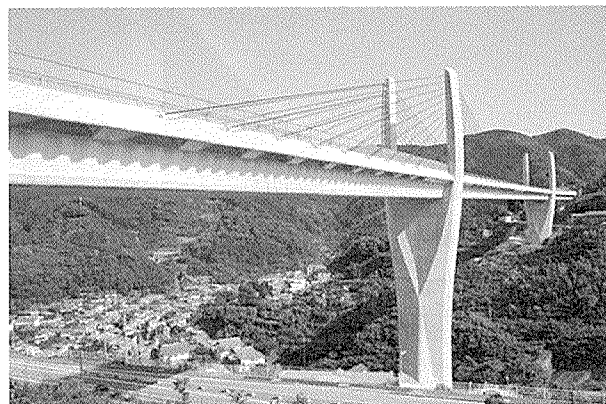


写真 - 8 日見夢大橋

その他の複合構造として、鋼桁と PC 桁を剛結した混合構造も採用されている。代表的な橋として、中央径間が 118 m の鋼 3 径間橋連続橋の側径間を PC 構造にした新川橋（四国縦貫自動車道 平成 12 年）（図 - 3）がある。この形式を採用することによって、すべてを鋼桁にした構造に比べて約 2 割のコストダウンになっている。この構造は平成 13 年に完成した伊勢湾岸自動車道の湾岸木曾川橋・揖斐川橋にも採用されている。

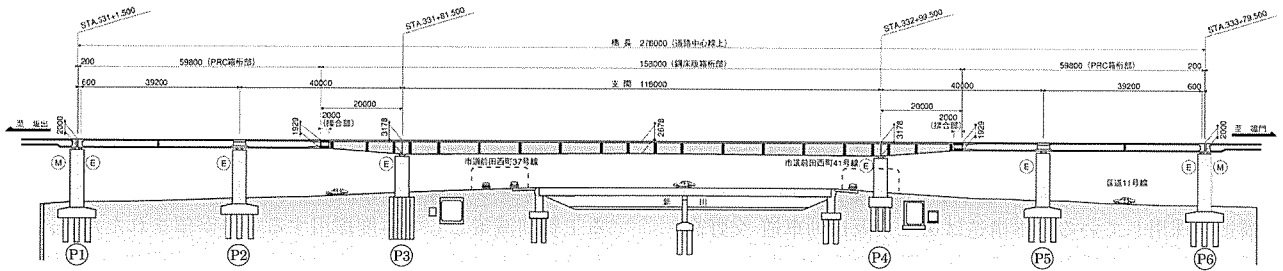


図 - 3 新川橋

新東名高速道路の猿田川橋・巴川橋には、連続ラーメン形式のPC複合トラス橋が採用されている。巴川橋の最大支間長 119 m はPC複合トラス橋では世界最大となる（上り線平成 18 年完成）（写真 - 9、図 - 4）。

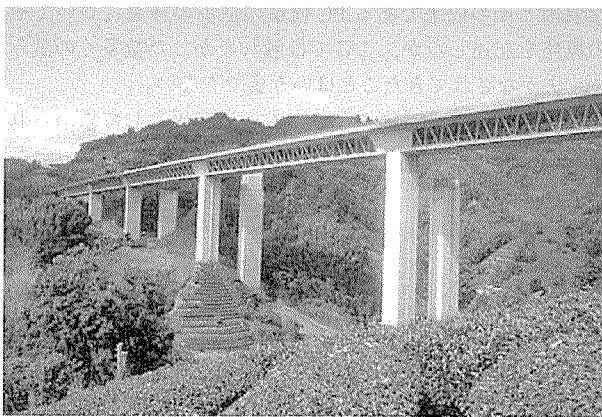


写真 - 9 猿田川橋

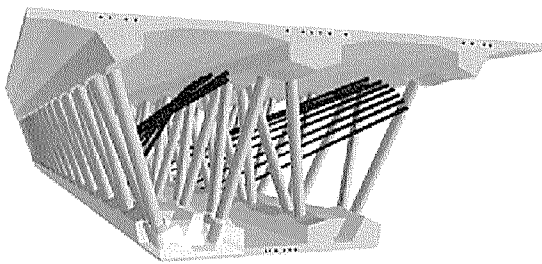


図 - 4 断面構造

6.2 プレキャストセグメント構造

高速道路で初めての本格的なプレキャストセグメント構造は、平成 9 年に完成した延長約 1.9 km の松山自動車道重信高架橋（写真 - 10）である。当時は架橋地点近傍にセグメント製作ヤードが確保されることが当工法の採用条件であったが、近年では、ヤードが確保できない都市部の橋梁においても、耐久性に優れた本工法を適用できる工場製プレキャストセグメント工法が開発され、採用されるようになった。

古川高架橋（写真 - 11、図 - 5）は、伊勢湾岸自動車道のみえ川越 IC～みえ朝日 IC 間に位置する延長約 1.5 km の工場製プレキャストセグメント工法を採用した都市内高架橋

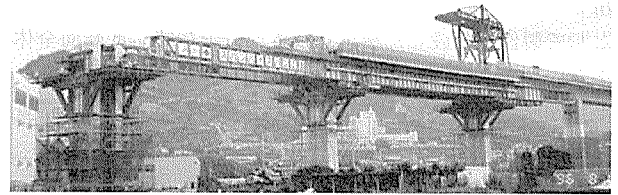


写真 - 10 重信高架橋

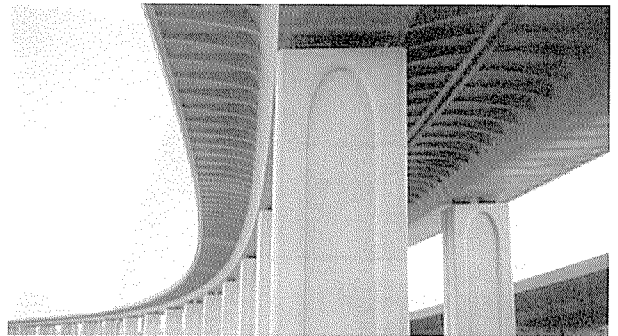


写真 - 11 古川高架橋

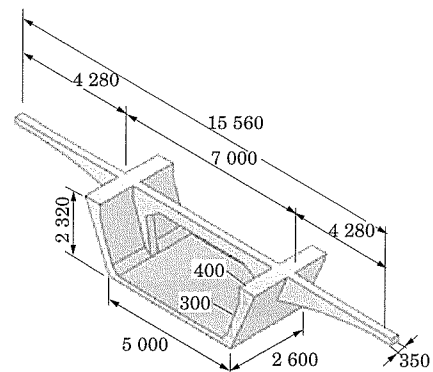


図 - 5 U型コア

である。JIS 工場で製作したセグメントは、一般道を介してトレーラーにより運搬を行うことから、セグメントの重量と寸法に制限を受ける。このため、本橋では U 形コア断面+リブ構造および設計基準強度 60 N/mm² の高強度コンクリートの採用により軽量化を図り、1 個あたりのセグメント重量を 30 tf 以下におさえている。架設はスパンバイスパンにより U 形コア断面にて架設後、リブ上にプレキャスト PC 板を敷設し、その上にも場所打ちにて PC 床版を構築して

いる。

伊勢湾岸自動車道 上和会高架橋は古川高架橋と同様に、近隣に製作ヤードが確保できないことから、工場製プレキャストセグメント工法を採用しているが、新たな試みとして2主箱桁断面としている。セグメントを1主箱桁ごとに分割して製作し、架設時に場所打ちにて2主箱桁に連結する構造を採用している。本構造は第二京阪自動車道 交野高架橋（仮称）にも採用されており、現在建設中である。

新東名高速道路の内牧高架橋（平成18年）（写真-12）は、内牧川盆地部を横過する個所に架橋される橋梁である。広幅員に適應するためにストラット付きPC箱桁構造を採用しており、主桁断面の一部分をプレキャストセグメントとして製作・架設した後に、残る部分を架設して断面全体を完成させる工法を採用している。これにより、セグメント製作重量として、従来工法と比較した場合約28%の軽量化を実現している。

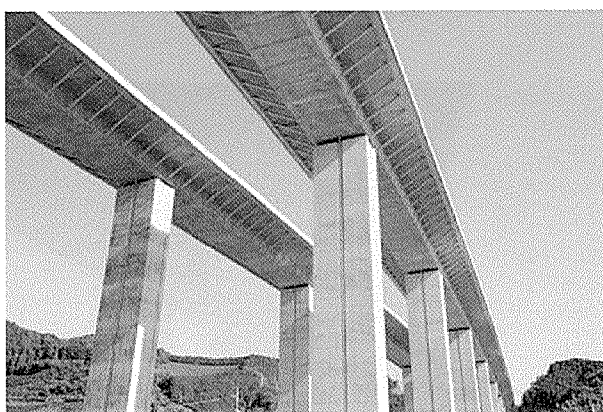


写真-12 内牧高架橋

6.3 耐久性の確保

PC構造のもっとも重要なPC鋼材を腐食から保護し、鋼材と主桁のコンクリートとを一体として機能させるために行われるグラウトについて、当時まで十分に配慮されてい

たとはいえなかったが、平成になってわが国のみならず世界的に話題となった。日本道路公団ではプレテンション工法や、全外ケーブル構造、また、プレグラウトPC鋼材を採用することで、内ケーブルのグラウト注入作業を排除し、PC橋の耐久性向上を図ってきた。しかし、架設工法によっては内ケーブル構造に経済的な優位性があり、PC橋における工費削減策として再度採用することが望まれたため、PCグラウトのブリーディング試験を、より実現象を再現できる手法に見直すとともに、プラスチックシースの採用、グラウト充てん検査技術の確立等により信頼性を確保する条件を付して内ケーブルグラウト構造を採用するようになった。

7. あとがき

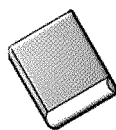
これまでの高速道路におけるPC橋の発達・発展を促した要因とその成果であるPC構造の進歩の経過についてその概略を記述したが、ここでは触れなかった数多くの試みや工夫がなされてきたことはいうまでもない。

今後どのような時代になっても、道路橋として求められる性能は変わらないであろう。すなわち、車の走行性確保、耐久性向上（維持管理の良さも含めて）、コストダウン、耐震性向上、景観向上など、まだまだ取り組み続ける必要がある事柄は多い。PCに携わる技術者の方々には、益々の研鑽を心から願っている。

参考文献

- 1) 高速道路技術センター：高速道路はじめて事典，平成9年
- 2) 御子柴光春：PC橋の変遷と施工技術，橋梁と基礎，2004-8，建設図書
- 3) 猪熊康夫，室井智文，本莊清司：橋梁技術の変遷と今後の展望，日本道路公団技術情報，No.178，2005.8，日本道路公団
- 4) 紫桃孝一郎，猪熊康夫，本間淳史，大城壮司，芦塚憲一郎：高速道路における複合橋梁の最近の動向，PC技術の進歩とその応用—第34回PC技術講習会テキスト—，2006，プレストレストコンクリート技術協会

【2008年11月25日受付】



図書案内

PC技術規準シリーズ

複合橋設計施工規準

定 価 6,825 円／送料 500 円
 会員特価 6,000 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 編
 技報堂出版