

高速道路における PC 橋の近年の取組み

宮内 秀敏*

高速道路網における PC 橋の役割と重要性について述べ、その技術の変遷と代表的な近年の取組みを、新しい橋梁構造などの例をあげて紹介した。さらに、グラウト充てん不足などの維持管理上の課題と効果的な点検・補修技術および PC 技術者の貢献の必要性を述べた。

キーワード：PC 橋技術の変遷、波形鋼板ウェブ、ストラット、エクストラードロード橋

1. はじめに

わが国の高速道路網は、1963年にわが国初の高速道路として名神高速道路 栗東～尼崎（以下名神）が産声を上げて半世紀、今やおよそ 7800 km の高速道路が供用されており、1日あたり 500 万台を超えるお客様にご利用いただいている。また、物流に目を向けると、国内貨物全輸送量およそ 54 億トンのうち、自動車輸送がその 91% の 50 億トンを担っており、なかでも高速道路の利用に負うところが大きく、12 億トン、22%¹⁾ となっている。全道路に占める高速道路の延長を考えると、その役割の重要性が改めて認識される。

このような社会・経済に対応、貢献するため、その時どきの最新技術を駆使して高速道路の橋梁が建設されてきた。近年では、少子高齢化や経済のグローバル化に代表される社会情勢の変化により予想される、技術者不足、事業のコストの縮減、あるいは環境保全の重要性が叫ばれるなか、これらに対応すべく橋梁の技術開発が急ピッチで進められている。これはとくに高速道路において積極的に取り組まれ、複合構造を含む革新的な PC 橋技術が開発され、新東名高速道路（以下新東名）や新名神高速道路（以下新名神）などで多数採用されている。

本稿では、高速道路における PC 橋技術の歴史を振り返りながら、近年の代表的な取組みを紹介したい。

2. 高速道路網における PC 橋の位置づけ²⁾

高速道路に建設される橋梁の種別は、その路線の地形条件や経済条件あるいは技術レベルにより大きく違ってくる。



* Hidetoshi MIYAUCHI

中日本高速道路(株)
専門主幹（構造物担当）

る。1970年に全通した東名高速道路（以下東名）と今年の四月に供用予定の新東名（御殿場～三ヶ日）の橋梁種別を比較したが、大きくその性格を変えている（図 - 1）。すなわち、4割を占めていた RC 橋が姿を消し、PC 橋が大きくその割合を延ばし、また、波形鋼板ウェブ PC 橋に代表される複合橋が台頭している。これは、PC 橋のスパン長大化技術の発展と PC 橋のもつ高耐久性によるものと考えられる。一方、道路延長に占める橋梁比率についても、東名の 15% から新東名の 32% へと大きく増加しており、新東名では複合橋も含めると、路面の 2 割を PC 橋が支えていることとなり、その重要性がますます大きくなっている。

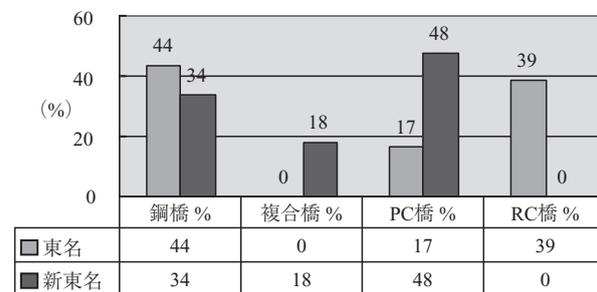


図 - 1 橋梁種別の比較

3. PC 橋技術の変遷³⁾

高速道路の PC 橋は、名神建設時に意欲的に技術開発が行われ、さまざまな橋梁形式が誕生している。たとえば、連続桁として初めての水無川橋（1962年）や支間中央にヒンジを有する釈迦が池橋（1963年）などが施工されている。その後、張出し架設などの架設工法の発達により適用スパンが拡大され、一般有料道路の浦戸大橋（1972年、スパン 230 m）、浜名大橋（1976年、スパン 240 m）など完成当時世界最大のスパンを誇るほど長大化が進んだ。これらの形式は有ヒンジ連続ラーメン箱桁であるが、その後はヒンジ部の走行性や維持管理上の問題からヒンジ部や支承をなくした連続ラーメン橋へと発展した。

長大 PC 橋を代表するもうひとつの形式が PC 斜張橋で

ある。1970年代から世界各国で目覚ましい発展を遂げてきたが、高速道路では東名改築で施工された東名足柄橋(1991年、スパン185m)、上信越道・碓氷橋(1993年、スパン111m)などがある。

また、斜張橋と桁橋の中間領域を埋める形式として、エクストラードド橋の技術が発展した。西湘バイパス・小田原ブルーウェイブリッジ(1995年、スパン122m)で初めて採用され、山陽道・つくはら橋(1998年、スパン180m)、新名神・近江大鳥橋(2007年、スパン170m)、伊勢湾岸道・トゥインクル(2001年、スパン275m)などで施工されている。

また、新たな流れとして特徴的なのは鋼・コンクリート複合構造の技術開発である。これは従来、鋼材あるいはコンクリートとを主材料として橋梁構造が構成されていたものを、鋼とコンクリートそれぞれの長所を有効に組合せたものである。複合構造の代表的なものとしてPC箱桁のウェブに波形鋼板を用いた“波形鋼板ウェブPC箱桁橋”や鋼管をウェブに用いた“PC複合トラス橋”などがあげられる。

一方、ケーブル関連では、外ケーブル方式の高速道路橋への採用があげられる。外ケーブル方式は、PC鋼材をコンクリート部材の外側に配置し、定着部あるいは偏向部を介してプレストレスを与える方式である(図-2)。この方式は、従来の内ケーブル方式に比べて自重の軽減や施工性の向上、大容量のPC鋼材の使用が可能となるとともに効率的な配置ができる。さらに、近年PC構造の大きな課題となっているグラウト充填不足についてもエポキシ樹脂被覆鋼線や透明シースの使用により解決でき、外ケーブル方式は、維持管理性の向上を図ることができる技術としてとらえることもできる。

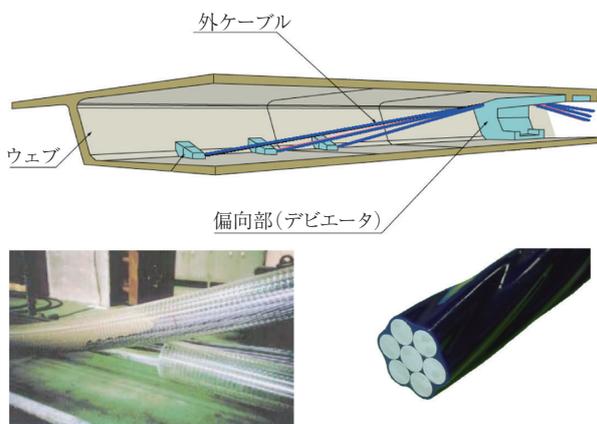


図-2 外ケーブル方式概略図とPCケーブル；透明シース(左)、エポキシ樹脂被覆鋼線(右)

また、近年ではPRC(PPC)構造が積極的に採用されている。この構造は、従来のPCとRCの両者の特徴を生かすことができるため、合理的でかつ経済的な設計が可能となる。PRCの概念を最初に取り入れたのは東名・小牧高架橋(1968年)のプレキャスト中空円柱橋脚である。上部構造に本格的にPRCを導入したのが舞鶴道・観音寺高

架橋(1991年)であり、PRC橋は、現在では設計法も確立され高速道路の標準的な構造となっている。

一方、施工面では1970年代頃から、機械化・省力化に関する研究開発が進み、連続高架橋における移動支保工による施工法が開発され、現在に至っている。また、品質の向上、工期の短縮あるいは経済性などからプレキャストセグメント工法も松山道・重信川橋(1996年)に初めて本格的に導入され、その後、新東名や新名神の建設にも多く採用されている。

4. 新しい橋梁形式とその特徴²⁾

高速道路のPC橋の橋梁形式としては、名神以降、T桁、合成I桁、ホロースラブ、2主版桁および箱桁などがスパンや架橋条件に対応し開発され施工されてきた。しかし近年、とくに新名神や新東名などの建設において、多くの革新的な橋梁形式が開発、あるいは技術導入され発展した。

ここでは、そのなかで、代表的な橋梁形式として、波形鋼板ウェブPC箱桁橋、ストラット付きPC箱桁橋およびエクストラードド橋を取り上げ紹介したい。

4.1 波形鋼板ウェブPC箱桁橋

波形鋼板ウェブ箱桁橋は、従来のコンクリートに替え波形鋼板をウェブに採用したPC箱桁形式であり、死荷重の減少(15~20%減)、橋軸方向に剛性の小さい波形鋼板を用いることによるプレストレス導入の効率化、また、ウェブコンクリート構築作業などの現場施工の省力化を図ることができる橋梁形式である(図-3)。

この形式はフランスから技術導入し日本道路公団時代にその技術を大きく発展させたものであり、東海北陸自動車道・本谷橋(1999年)を初めとして、すでにおよそ100橋が高速道路で採用されており、スパンも150mを超えるものまで登場している。さらに最近では波形鋼板ウェブを採用したエクストラードド橋や斜張橋が開発され、新名神や新東名で施工されている。

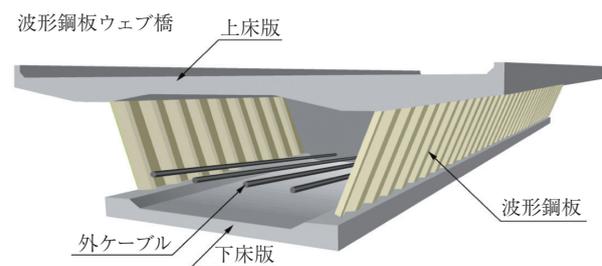


図-3 波形鋼板ウェブPC箱桁橋

4.2 ストラット付きPC箱桁橋

ストラット付きPC箱桁とは、張出し床版をストラットで支持する構造形式で、従来のPC箱桁に比べ下床版幅を狭くすることができる。このため、従来のPC箱桁より箱断面積が小さく、上部構造の軽量化が図れるため、近年、広幅員の橋へ適用されるようになった。新東名では、内牧高架橋(写真-1)など、およそ60橋が施工されている。ストラットの構造としては、コンクリート部材(円柱(φ300

mm)、四角柱(300×300 mm)および鋼管(267.4 mm t = 6 mm)が採用されている。写真はコンクリート製円柱の例であるが、耐久性向上のため、FRP 外套管を使用している。また、主桁の構造についてもコンクリートウェブと波形鋼板ウェブの両タイプが開発されている。



写真 - 1 ストラット付き PC 箱桁 (内牧高架橋)

4.3 エクストラードード橋

フランスの Matihvat によって 1988 年に提唱されたエクストラードード橋は、斜張橋と桁橋の間を補う新しい構造形式である。それまで、スパンが 150 m から 200 m くらいの領域は桁橋と斜張橋が混在してきた。エクストラードード橋という概念によって、構造としてのバリエーションが拡大し、この領域で経済的な構造を見出すことが可能となった。

この形式は、外ケーブルの偏心量を桁高より大きく取った桁橋の発展形であり、斜張橋に比べ活荷重に対して、より主桁が抵抗するため、斜材は活荷重による応力変動が小さく桁内のケーブルと同様の安全率とすることができること、当然主塔高が低く抑えられることなどから、経済的にも優れた構造形式である。エクストラードード橋は、わが国での施工が一番多く、まさしく日本で花開いた構造形式といえる。



写真 - 2 エクストラードード橋
(近江大鳥橋; NEXCO 西日本提供)

5. PC 橋材料の発展

高速道路の PC 橋においては、使用される材料も進歩している。施工に起因する耐久性の観点からは、とくに現場でのグラウト充てん不足のリスクを回避できる材料とし

て、外ケーブルで主に採用されているエポキシ樹脂被覆鋼線と、横締めや比較的小スパン橋梁の主ケーブルとして使用されているプレグラウト PC 鋼線(図 - 4)があげられる。プレグラウト PC 鋼線とは、PC ストランドをポリエチレンシースで被覆し、工場においてストランドとシースの間にエポキシ樹脂などを注入したもので、わが国で 1987 年に開発された。高速道路には、1992 年ごろから採用されている。

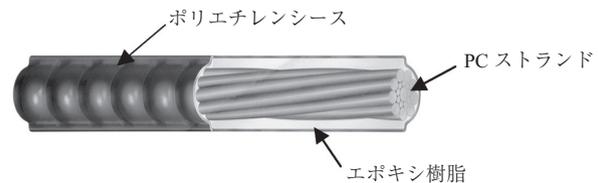


図 - 4 プレグラウト PC 鋼線

さらに最近では、高強度 PC 鋼材が高速道路の PC 橋に採用され始めている。現在までのところ PC 鋼材については、JIS 規定による引張強度が 1 860 N/mm² 級の PC 鋼より線を一般的に使用しているが、近年、引張強度がおおよそ 20 % 程度大きい 2 250 N/mm² 級の材料が開発されたことによる。この材料を使うことで、PC 鋼材本数が減少し、その配置や施工が容易となるとともに建設コストの削減が見込まれる。

6. 維持管理上の課題

ここまで PC 橋の建設技術や材料の発展について述べてきたが、もうひとつあげておかなければならないのが、維持管理技術に対する近年の取組みである。

PC 橋は、耐久性に優れた構造でありメンテナンスは不要と、永らく考えられていた。しかし、PC 橋は容易に変状が表面化することはなく、調査や評価が非常に難しいこともあり、変状に気がついた時には劣化が相当進んでいる場合が多い。また、一部の変状を把握しても、全体の状況を把握することは困難である。良好な維持管理がされていると思われていた高速道路においても、近年になって変状が著しい PC 構造物の出現が話題となってきている。一方で、PC 橋の先進地である欧州においても維持管理が大きな課題となっており、点検技術や補修技術について技術開発が進められているようである⁴⁾。

われわれは十分な点検技術や補修技術を開発してきたであろうか。ますます“高齢化”が進む高速道路において、サービス水準を維持あるいは向上させ、かぎられた維持管理予算のもと、橋梁の安全や通行者の安全、長期耐久性を考慮して、適切に PC 橋の維持管理を行うことは今後ますます重要な課題となってくる。PC 技術者はこの状況を声を大にして訴えらるとともに、その技術力をもって貢献しなければならないときである。

6.1 グラウト再充てん技術

高速道路の PC 橋について良好な維持管理をし、長寿命化を図るために、とくに重要で望まれるのが、信頼性が高く、効率的なグラウト充てん検査技術や再充てん技術の開

発である。現在使用されている検査技術の主なものを表-1に示すが、まだまだ適用対象に制限があったり、その精度にも課題がある。また、再充てん技術についても真空充てんなどの技術が開発されているが、更なる開発が必要と感じている。

表-1 主なグラウト充填検査方法

方法	調査対象		適用条件(課題)
	全長	局部	
電磁波法	●	●	・鋼製シーす不可
赤外線法	●	●	・有効な温度差必要
超音波法		●	・厚さ 20 cm 程度まで
X線透過法		●	・厚さ 50 cm 程度まで ・管理区域の設定 ・鋼材並行配置不可
弾性波法	●		・横締め限定 ・定着具直接打撃必要
中性子法		●	・厚さ 30 cm 程度まで

6.2 鋼材とコンクリート接合部

波形鋼板ウェブ橋においては、床版とウェブとの接合構造にはいくつかの種類があるが、埋込み方式の接合構造(図-5)は、フランジプレート方式と異なりアングルやスタッドを溶接する必要がないため、疲労耐久性の面で有利となる。また、コストの面でも接合部がフランジプレートを必要としない埋込み接合は有利となる。しかしながら、埋込み接合では波形鋼板ウェブが直接コンクリートに埋め込まれていることから、とくに下床版では鋼板とコンクリートとの境界から水が浸入し、埋め込まれた鋼板が腐食することが懸念される。これまでの実績では、図-6のようにウェブとコンクリートとの境界部を塗装と止水材で防水処理することで腐食対策を実施しているが、埋込み接合部の腐食メカニズムや止水材が接合部の腐食耐久性に及ぼす効果についての知見が十分とはいえない⁵⁾。したがって、現時点ではモニタリングも含めた有効な点検の実施が重要である。

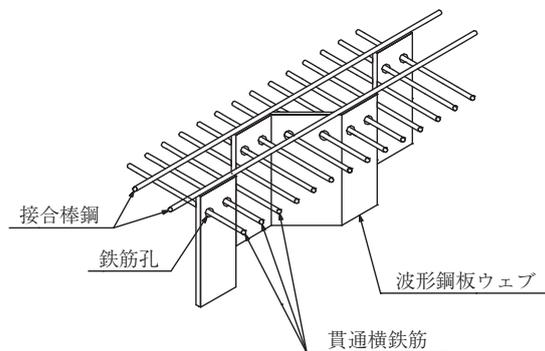


図-5 埋込み接合構造の例

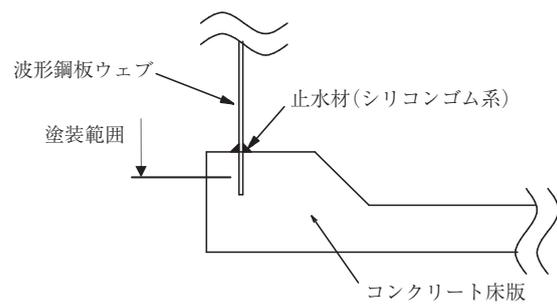


図-6 接合部の防食対策の例

7. 高速道路におけるPC橋の展望

高速道路の橋梁建設がいかにあるべきかを考えるとき、たゆまない技術開発なくしては考え難い。わが国におけるおよそ50年の高速道路の橋梁技術を振り返るとき、とくに活発に技術開発が行われ、多くの技術が芽生えたのは、高速道路の黎明期である名神建設時代と、もうひとつは公共事業予算が減少し、コスト縮減が求められている現在ではないかと感じている。また、これからの技術開発の方向性としては、LCCを強く意識することが求められるとともに、点検技術者の高齢化などにも対応できる検査路の構造など、きめ細かい配慮が必要であると考えている。

一方、近年まで橋梁は、鋼橋とコンクリート橋に大別され、それぞれ独自の進歩をしてきたが、近年、鋼とコンクリートを巧みに組み合わせた複合構造の橋梁が建設されるようになってきている。この技術開発により、設計の自由度が大幅に拡大し、建設コストや維持管理費の縮減を可能としている。前述したように、すでに波形鋼板ウェブPC箱桁橋などが開発されているが、他の橋梁形式においても複合構造の採用を積極的に進めるべきであると考えている。鋼橋もしくはコンクリート橋などの分類が意味をなさない時代がそこまで来ているのでは、と感じている。

さらに、国内では、建設からストックメンテナンスへと軸足がシフトしていることを踏まえ、効率的な点検・長寿命化技術の開発が切望される。

四月に新東名が開通すれば、わが国の高速交通網の大きなリダンダンシーが生まれることとなり、確実に発生するといわれている、首都圏直下型、東海、東南海、南海地震などへの備えとしての大きな役割が期待されている。

参考文献

- 1) 全国高速道路建設協議会：高速道路便覧 2010, pp.228
- 2) 宮内秀敏：新東名高速道路における橋梁技術の発展, 土木技術, Vol.67, No.1, pp.35-39
- 3) 角谷務, 多久和勇, 紫桃孝一郎：橋梁建設技術の変遷と今後の展望, 日本道路公団技術情報, 第152号, 1999.12, pp.18-27
- 4) (株) 高速道路総合技術研究所：2010 欧州 PC 橋維持管理調査報告書, 2011.5
- 5) 小野, 大城, 桜田, 大浦：波形鋼板ウェブ橋における埋込み接合部の耐久性の検討, コンクリート工学, Vol.44, No.8, 2006.8, pp.23-29

【2012年1月24日受付】