

特別講演Ⅱ

高速道路橋におけるPC橋の技術開発状況と今後の展開

日本道路公団技術部 構造技術課長 小川篤生

1. はじめに

現在、我国の高速道路の供用延長は6,935kmとなっており、そのうち橋梁延長が約915km、比率では14.3%を占めている。また、高速道路の平均経過年数は約16年であり、そのうち最も経過年数の多い道路は名神高速道路の約35年となっている。高速道路は、これから更に老朽化が進んでいくことになる。

一方、現在建設中の高速道路は約2,020kmである。これから建設する高速道路は第二東名・名神高速道路に代表されるように、山岳地を通過することが多く、平野部であっても市街化された地域であるなど、厳しい条件の中で建設されることを余儀なくされるため建設費が増大している。さらに、地方部の高速道路では多くの交通量が見込めないところから、採算性を悪化させないように、橋梁の建設費の削減を図っていく必要がある。

そのため、橋梁の耐久性向上と工費削減を目指して、新技術開発や新工法の開発に全面的に取り組んでいるところであり、PC橋に関しても「PRC構造の採用」、「外ケーブルの採用」、「プレキャストセグメント工法の採用」、「複合構造の開発、採用」、「グラウト設計・施工の改善」などの新技術・新工法について、ここ数年来積極的に取り組んできた。ここでは、それらについての現状と今後の検討課題について述べることにしたい。

2. PRC (PPC) 構造

2.1 PRC構造に関する取り組み

PRC構造が、PCの利点とRCの利点を併せ持つ構造として、近年高速道路橋で数多く採用されるようになってきている。

高速道路橋では「PRC道路橋設計要領(案)」(高速道路調査会)が1985年にまとめられ、これに基き試験的に常磐自動車道中郷サービスエリア内のランプ橋が1986年に、近畿自動車道観音寺高架橋が1990年に建設され、その後北海道でも数橋が建設された。従来であれば支間18mのRCホロースラブで計画されるような架橋条件において、現在では、ほとんどの場合、RC橋に替わってPRC構造(支間25m~30m程度)が計画されるようになった。

その結果、これまでの高速道路におけるRC橋の延長比率が約32%であったものが、現在設計中においては、約3%程度と激減しており、同時にPC橋の延長比率も従来の28%から約57%と増加傾向にある。

日本道路公団では平成10年4月に設計要領の改訂を行なった。その中で「フルプレストレスをプレキャストセグメント橋、水路橋に限定し、その他の形式をPRC構造とする」と規定し、これまでPRC構造の適用対象を主にホロースラブとしていたものを、PC構造全体に広め、その設計方針についても記述している。

主な内容は以下のとおりである。

- ①設計荷重作用時の照査項目と制限値を示した。
- ②設計荷重時のひび割れ制御方法は、環境区分および設計部位に応じて選定するようにした。
- ③PRC構造は、外ケーブル構造についてまだ知見が少ないことから、内ケーブル構造を原則とした。

3. 外ケーブル構造

外ケーブル構造は従来から使用されていた構造ではあるが、高速道路橋での採用はそれほど古くはない。平成8年に完成した「秋田自動車道 岩滑沢橋：押し出し工法により施工されたPC6径間連続箱桁橋」が本線橋として最初に外ケーブルを使用した例である。

外ケーブル構造の利点は

- ①部材断面をうすくでき、自重が軽減できる。
- ②大容量のPC鋼材の使用が可能になることによって、経済的となる。
- ③PC鋼材が直接目視できることによって、補修や補強が容易になる。

などがある。

外ケーブル構造は、プレキャストセグメント橋や場所打ち施工による箱桁橋で採用例が増加しており、最近では張り出し施工による「PC連続ラーメン橋」でも採用している例が増加している。

図-1はそのイメージ図である。なお、「平成10年4月改訂の設計要領」において、外ケーブル構造の設計の方針と構造細目に関して詳しい記述を行なっている。

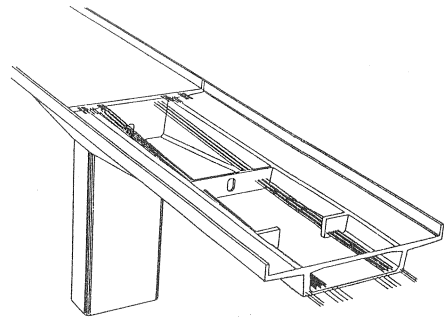


図-1 外ケーブルを用いたPC連続ラーメン橋

4. プレキャストセグメント工法

PC箱桁において、主桁を輪切りのブロック(セグメント)に分割し、あらかじめ現場ヤードや工場で作製した後に、架橋地点でプレストレスにより一体化する「プレキャストセグメント工法」を「松山自動車道 重信高架橋(平成9年完成)」で本格的に採用して以来、「中国自動車道 大和高架橋」他数橋を建設してきた。

それらの実績を踏まえ「第二名神高速道路 弥富高架橋」において大規模にプレキャストセグメント工法を適用しており、隣接する「鍋田高架橋」「木曾崎高架橋」「木曾川橋」「長島高架橋」「揖斐川橋」および「近鉄跨線橋」「古川高架橋」「朝明高架橋」の総延長11kmをプレキャストセグメント工法で設計・施工中である。

4.1 第二名神高速道路 弥富高架橋

弥富高架橋を含む鍋田IC付近から川越ICまでの高架橋において、本線近くに大規模な桁製作や、ストックするヤードの確保が可能で、かつ大型特殊トレーラーによる輸送が可能なることから、プレキャストセグメント工法を採用している。

弥富高架橋は橋長1,519mのPC(7+11+12)径間連続箱桁橋である。本橋では、セグメントの最大重量を80t,最大橋軸方向長さを3mとしている。本橋で特に工夫をしている点は以下のとおりである。

- ①外ケーブルの配置形状を分散配置とし、ディビエータの簡素化とセグメントの統一化を図っている。
- ②セグメント製作において、鉛直・水平ジャッキにより、先行製作したセグメントを3次元に変化させ、新セグメントを製作している。
- ③鉄筋の加工をプレハブ化して、効率を上げている。
- ④反力分散型ゴム支承を用いて多径間化している。

現在の進捗状況は、架設が開始され始めた段階である。架設状況を写真-1に示す。

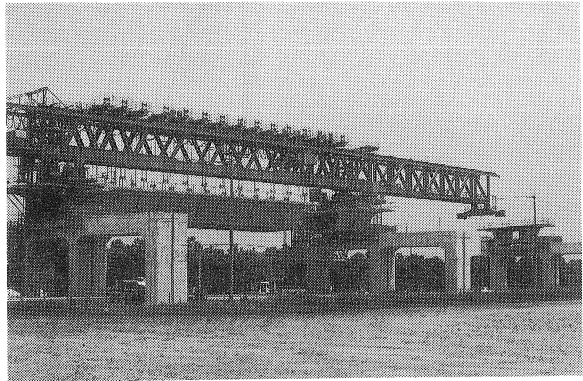


写真-1 弥富高架橋の架設状況

4.2 プレキャスト工法を用いたその他の橋梁

1) 第二名神高速道路 木曾・揖斐川橋

弥富高架橋の施工に続いて着工した橋梁として、木曾川橋と揖斐川橋がある。当該橋梁は支間271m~275mの鋼コンクリート複合連続エクストラードズド橋であり、コンクリート桁部分がプレキャストセグメント工法で施工されている。セグメントの最大重量が1個約500tと巨大であるため、その製作性やコンクリートの硬化温度による影響を確認するために実物大の試験セグメントを製作し、データを取っている。写真-2は試験セグメントの状況である。

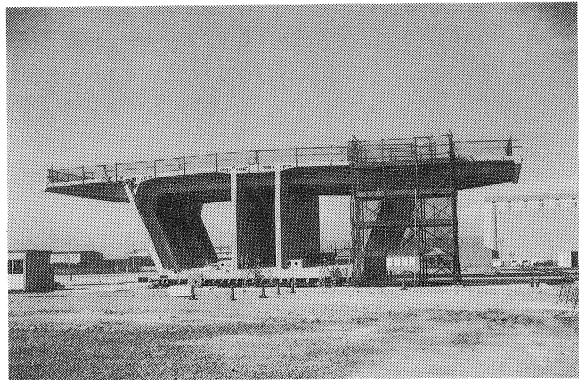


写真-2 揖斐川橋全体模型実験状況

2) 第二名神高速道路 近鉄跨線橋・古川高架橋・朝明高架橋

本線の近くに大規模なストックヤードは確保できないが、セグメントを製作できる工場が近辺に多数立地していることから、工場製プレキャストセグメント工法を当該高架橋で計画している。当該高架橋は、全長で1,440m、平均支間長が36mの橋梁である。

形式比較において、大型移動支保工や固定支保工との比較の結果、経済性と施工性から本工法を採用することとしている。図-2は箱桁の断面とセグメントの見取り図である。この橋梁で工夫しているのは、セグメントの重量を抑えるためにリブ付き床版を採用しリブ間を桁架設後に場所打ちするようにしていることである。

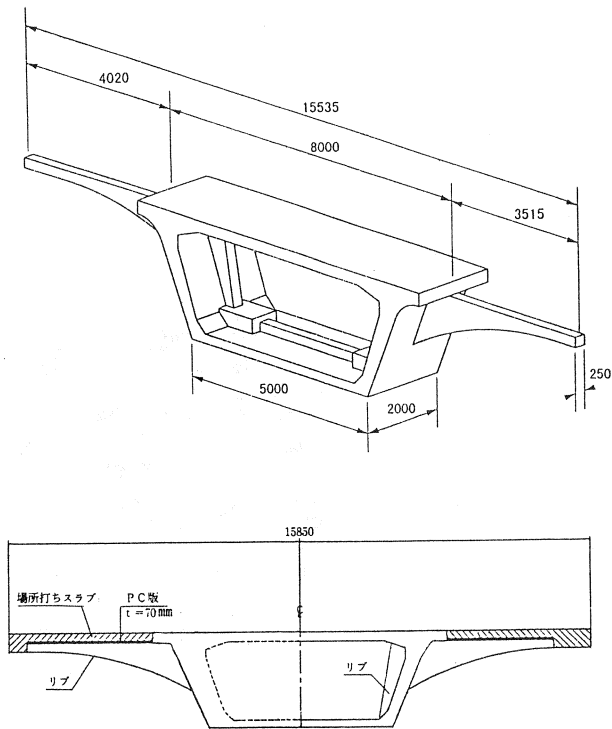


図-2 リブ付 セグメント図

3) 日本海沿岸東北自動車道 阿賀野川橋

阿賀野川橋は橋長960m平均支間80mのPC12径間連続箱桁橋である。

施工期間の短縮ができ、施工時に仮橋を使用しなくても施工が可能なプレキャストセグメント工法を採用している。現在下部工が完成し、これから上部工を着工する予定である。

5. 複合橋梁

鋼とコンクリートを組み合わせた複合構造は、色々な組み合わせ方があるため各種の複合構造が考えられる。

JHにおいても、①PC箱桁のウェブを鋼材に置き換えた「波形鋼板ウェブPC箱桁」や「複合トラス」、②コンクリート桁と鋼桁を橋軸方向に接合する「混合桁橋」、③その他、鋼上部工と橋脚を剛結した「鋼複合ラーメン橋」、橋脚の中に鋼管を組み込んだ「鋼管複合橋脚」等について、開発研究を行なっている。

ここでは、「波形鋼板ウェブPC箱桁」、「複合トラス」および「混合桁橋」について、現在の検討状況と今後の展開について紹介することとする。

5.1 波形鋼板ウェブPC箱桁

JHにおいては、東海北陸自動車道「本谷橋」において初めて波形鋼板ウェブ橋を採用している。

本橋は中央支間19.8mの3径間連続ラーメン橋であり、片持ち張り出し架設工法により施工されている。

上部工が完成した平成10年5月に実橋載荷試験を行い、以下について確認した。

1) 波形鋼板ウェブ構造の基本的性状の確認

- ①たわみは計算値とほぼ一致していた。
- ②平面保持の仮定は実橋においても成立している。

2) ねじり挙動

ねじり荷重による特異な挙動は見られない。

3) 床版性状の検討

床版の直角方向のひずみは、FEM解析結果とよく一致していた。

現在、JHにおいて波形鋼板ウェブPC橋として完成した橋梁は本谷橋だけであるが、その他4橋を計画中である。

なお、弥富高架橋において、長大支間区間の死荷重軽減のために波形鋼板ウェブ橋構造を検討中である。本橋は「①幅員が広く、②交通量が多くなることが考えられる、および③景観上からウェブが傾斜している」などの特徴があることから、以下の点について実物大の供試体によって繰り返し載荷試験を行なった。

- ・フランジコンクリートとウェブとの接合部における活荷重による疲労問題(橋軸方向)
- ・広幅員の橋梁におけるフランジコンクリートとウェブとの接合部いわゆる「首振り」に対する疲労問題(橋軸直角方向)

試験の結果、接合部は十分な疲労強度があることが判った。写真-3に首振りに対する疲労試験状況を示す。

波形鋼板ウェブ橋に関して残された課題として、フランジコンクリートとウェブとの接合部の長期耐久性の問題があるが、これは早急には結論が出るものではないため、すでに完成した本谷橋を注意深くモニターしていくこととしている。

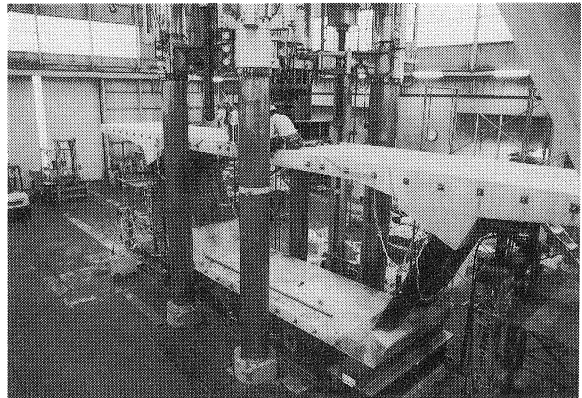


写真-3 波形鋼板ウェブの床版取付部疲労試験

5.2 複合トラス

第二東名高速道路「巴川橋」と「猿田川橋」において複合トラスを計画しており、現在、格点部の最適な構造詳細を求めるために疲労および静的載荷試験を行なっている。

図-3は格点部としての候補案の比較である。載荷試験の結果、3案とも十分耐力があり、耐力の面からは優劣が付けられないため、今後施工性とコストの面から検討を加える予定である。

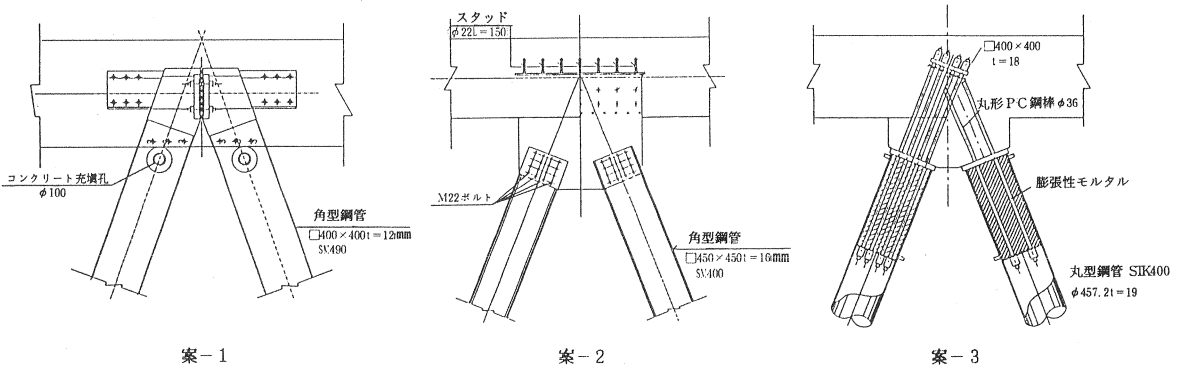


図-3 複合トラス 格点構造案

5.3 混合構造

鋼上部工あるいはPC上部工の連続桁では、支間割りの関係からアンバランスモーメントが生じることがある。アンバランスモーメントを生じさせないように径間割りを調整すると工費が割高となり、不経済になる。

それを解決する方策として、または、異なる上部工形式が隣接する箇所のジョイントを無くす目的等のために「混合桁」を採用する例が増加している。

前者の例として、高松自動車道「新川橋」がある。その概要はこれまで他の文献等で紹介しているので、ここでは

省略する。後者の例についても、一般の橋梁・高架橋で数多く計画されるようになった。図-4は、接合部の構造例である。今後、このような形式の橋梁が増加していくものと思われる。

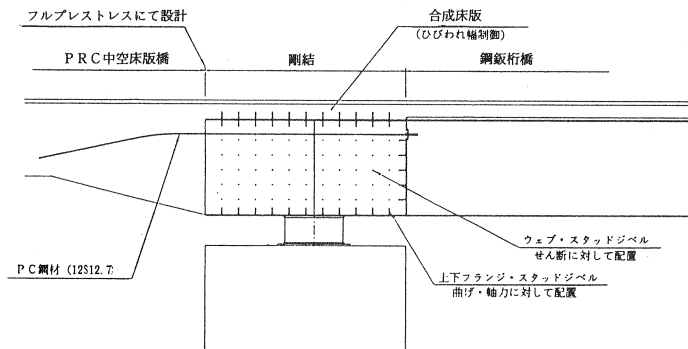


図-4 混合橋の例

6. その他の試み

第二東名・名神高速道路は、これまでの高速道路に比べ幅員が広いことが特徴の一つである。

そこで、JHでは広幅員に着目して、構造の検討を行っている。図-5は第二東名「内牧第1高架橋」の横断

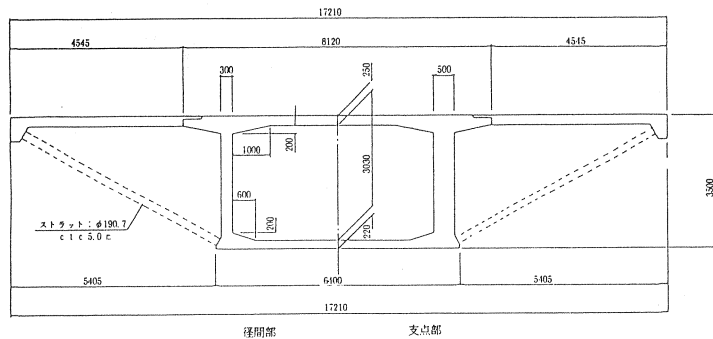


図-5 内牧高架橋

図である。本橋では「断面分割プレキャストセグメント工法」を計画している。

すなわち、主桁断面をコア断面と両側の三角形のストラット付き張り出し床版部に分割して、コア部分をプレキャスト化して先行架設した後、張り出し部を場所打ちしようとするものである。

利点として、セグメントの軽量化と架設機械の小規模化ができ、経済性も向上することが見込まれている。

なお、片持ち張り出し架設工法によるPCラーメン橋にも同じような試みを計画している。

7. 耐久性向上

現在、全国の高速道路の平均年齢が16歳であることは先にのべたが、それらが年々経過年数が増え、また現在施工中の橋が新たに追加されることにより、将来維持管理していかなくてはならない「橋梁ストック」が増大していくのは、避けられない事実である。

JHでは、すでに建設されている橋梁の「補修・補強」などの保全技術の開発に力を注いでいるが、これから建設する橋梁についても、できるだけ耐久性があり、将来の維持管理になるべく負担の少ないような橋梁を建設するよう取り組んでいる。

PC橋の耐久性向上には、以下の3点が重要となる。

- ①コンクリートの耐久性を向上させる。
- ②鉄筋の「かぶり」を適切に確保する。
- ③PC鋼材の耐久性を向上させる。

①項目については、コンクリートそのものの品質を確保するよう品質管理を従前から行なっているが、そればかりではなく、コンクリート打設後の品質(特に強度)についても着目し、打設後の強度を非破壊検査で管理することを検討している。

②項目については、設計時点から、かぶりの施工誤差を考慮して設計することとし、施工管理については、施工後のかぶりを非破壊検査で測定することを検討中である。

③項目については、グラウト施工の良否がPC鋼材の腐食に大きな影響を与えることは自明の理である。

これまでグラウト施工については、設計時に議論することはなく、施工計画を立案する時に品質管理の一部として管理していたが、グラウトの重要性に鑑み、設計図にグラウトに関する事項を図示するなど「グラウト設計」を行なうことや、ノンブリージング型グラウトの使用や、プレグラウトPC鋼材を積極的に採用している。今後は、グラウトの施工後の品質をどのように確認していくかが検討課題である。

その他、これまで鋼製シースを標準的に使用していたが、より防錆性能の優れるポリエチレンシースの導入についても検討を行なっている。

PC橋には限らず、コンクリート床版の耐久性を向上させるために橋面の全面防水工を義務付けるとともに、下部工や壁高欄に用いるコンクリートの耐久性を向上させることを目的として、設計基準強度をこれまでの $24\text{N}/\text{mm}^2$ から $30\text{N}/\text{mm}^2$ に変更し、水セメント比の低減を図っている。

8. あとがき

近年、鋼橋においては経済性向上、ひいては競争力確保のために「鋼重ミニマム」から「工費ミニマム」へと設計思想を大きく変え、いわゆる「合理化桁」が主流となっている。

また、鉄筋コンクリート床版の耐久性が向上でき、床版支間が長大化できるPC床版を開発したことによって、「少本数主桁橋」が採用可能になった。

これらにより、プレートガーダー橋のコストが大幅に低減できるようになったことから、最近の橋梁形式比較において、鋼橋が経済的に優位になり始めた。

PC橋においても、これまで述べてきたように経済性向上が図られ、それなりの成果があがってきている。しかし、鋼橋の取り組みに比べると、まだ基本に立ち返った検討とまではいっていないような気がする。

設計・解析の高度化、施工システムの改善、コンクリートの性能の見直しなど、まだまだ取り組んでいかななくてはならない課題が多いように思われる。

JH日本道路公団においても、新技術・新工法に積極的に取り組んでいきたいと思っている。