

特別講演Ⅱ

高速道路における最近のPC橋と今後の取組み

Recent PC bridges and prospect of Japan Highway Public Corporation

日本道路公団 技術部 構造技術課長 猪熊 康夫

1. はじめに

従来メンテナンスフリーと考えられていたコンクリート構造物の劣化や損傷が顕著となるなか、各方面でコンクリートの品質確保と耐久性向上の方策について議論されている。日本道路公団（以下、JH）においても、高速道路の供用延長が伸びるにつれコンクリート構造物の維持管理や補修に要する業務が増大しており、建設時においてコンクリート構造物の耐久性を確実に確保することが重要な課題となっている。

我が国の高速道路の供用延長は、1963年の名神高速道路の開通（栗東～尼崎）を皮切りとして、現在までに7,300km（平成15年度末現在）を超えており、そのうち橋梁延長は約14%を占めるに至っている。高速道路の平均経過年数は図1に示すとおり約18年であるが、そのうち最も経過年数の多い道路は名神高速道路で約39年となっており、これから更に老朽化が進んでいくことになる。

また、現在供用している高速道路の橋梁の維持補修費は約500億円/年にも達し、供用延長の増加に伴い今後増大して行くものと予想される。従って、如何に初期コストを安く抑えるかとともに、補修に手のかからない構造物にするかが大きな命題である。

また、今後建設していく橋梁は、第二東名神やネットワークの形成を充実させる横断道、地方路線であり、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り、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することになる。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。

このような状況の中で、橋梁の耐久性向上と工費削減を目指して、JHにおいては新技術や新工法の開発に全面的に取り組んできたところであり、構造の合理性やコスト削減効果に期待した新しい構造形式を数多く採用してきた。

本文では、JHにおける最近のPC橋梁を紹介するとともに、合理的な建設計画を含めた今後の取組みについて紹介するものである。

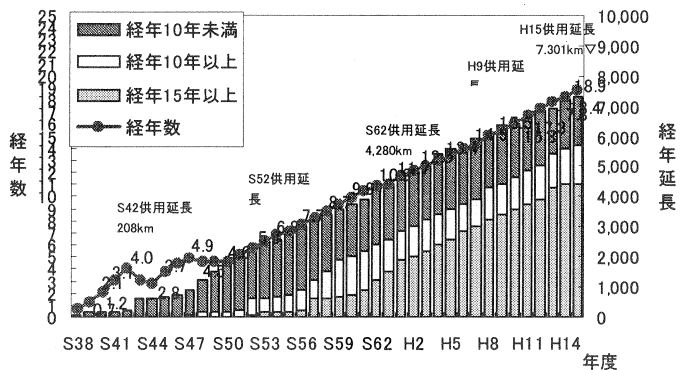


図-1 高速道路の延長の推移（経年別）

2. 最近のPC橋事例

2-1 長崎自動車道 日見夢大橋

日見夢大橋は、JR長崎駅から東へ5km、起点長崎ICから約3.7kmのところ建設された最大支間180mの橋梁である（図-2、3、4）。架橋最大支間地点は、一般国道34号と日見バイパスを跨ぐ地形条件にあり、長崎への玄関口としてのランドマークとなる。

本橋は、耐久性・維持管理に着目し、全外ケーブル方式を採用している。これによって、全ての主方向ケーブルを点検することができ、必要であれば交換も可能になる。さらに、軽量化をさらに進めるために、波形鋼

鈑ウェブを採用しており、波形鋼板ウェブを用いたエクストラードード橋というこれまでに例を見ない形式を採用している。

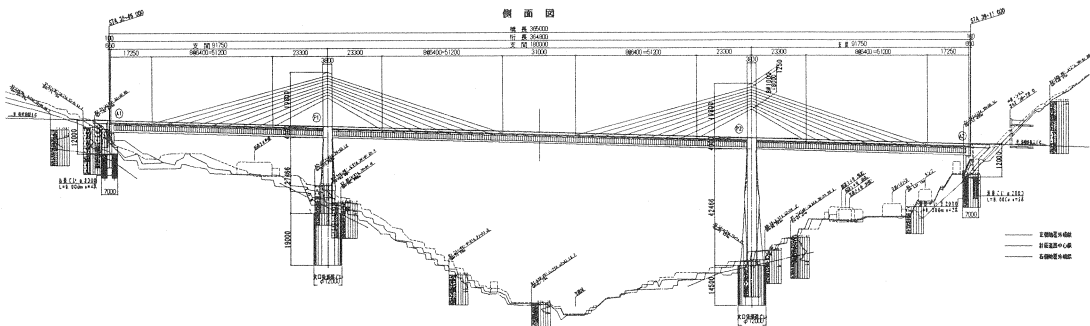
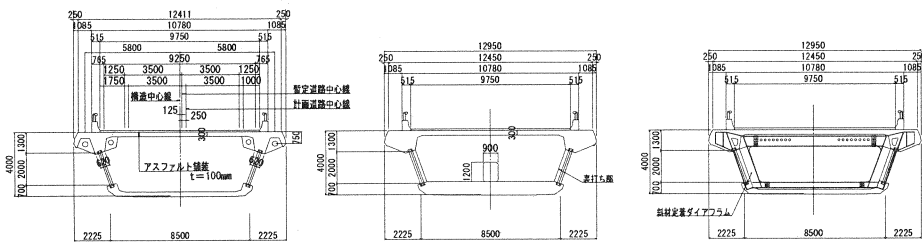


図-2 日見夢大橋一般図



下部工断面図

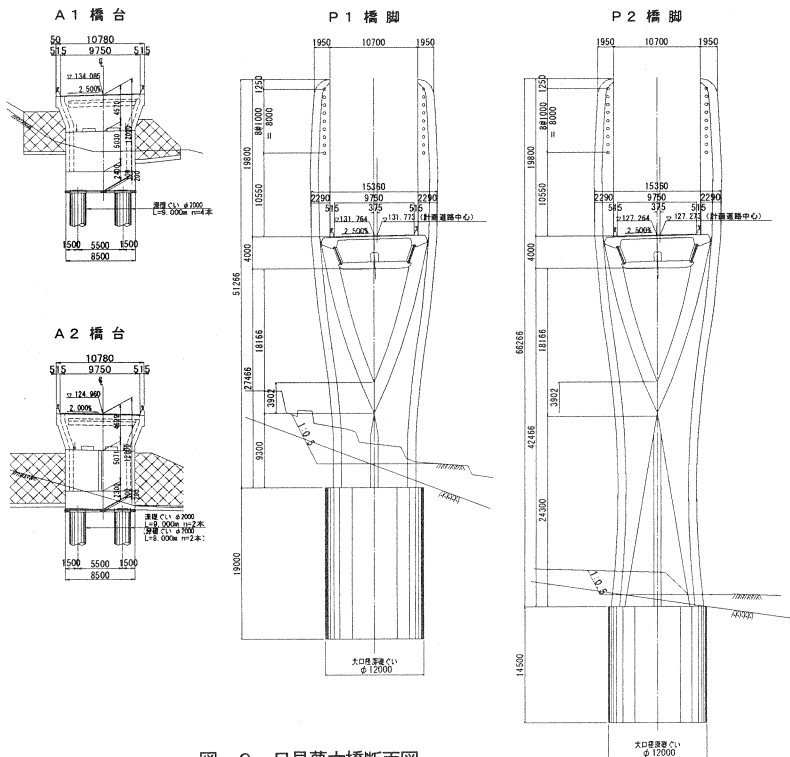
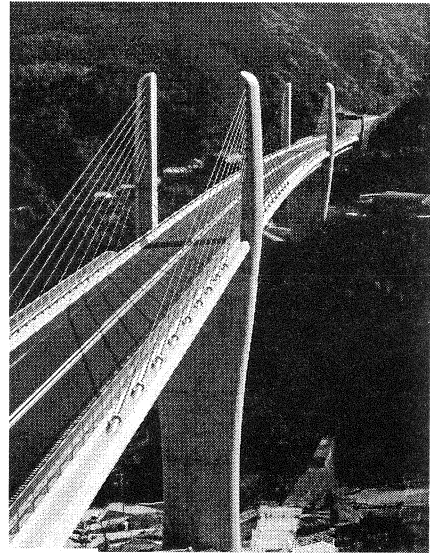
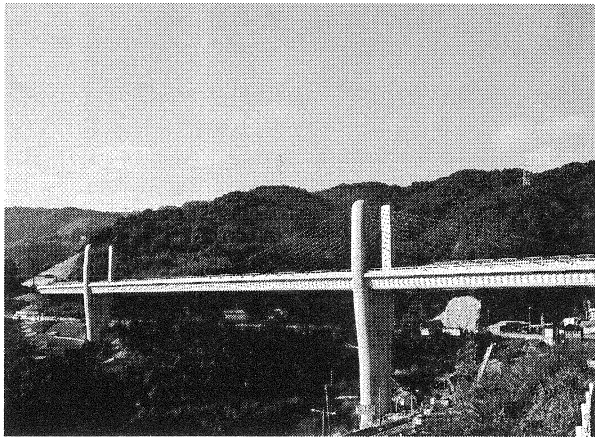


図-3 日見夢大橋断面図



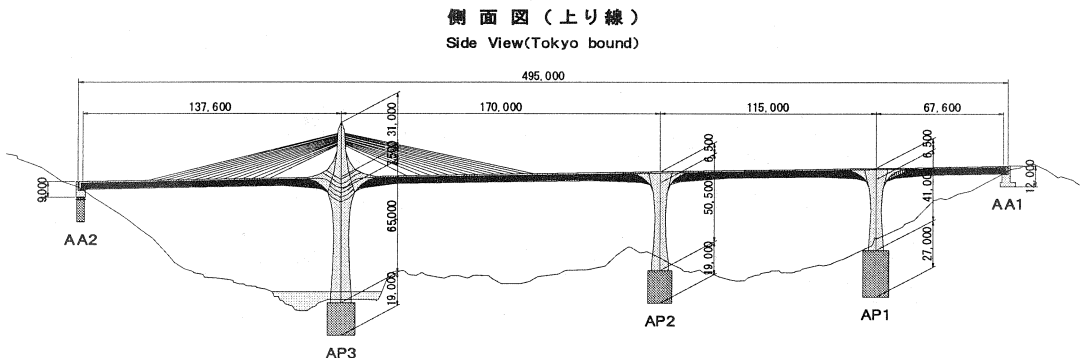
図—4 日見夢大橋全景

2-2 第二名神高速道路 栗東橋

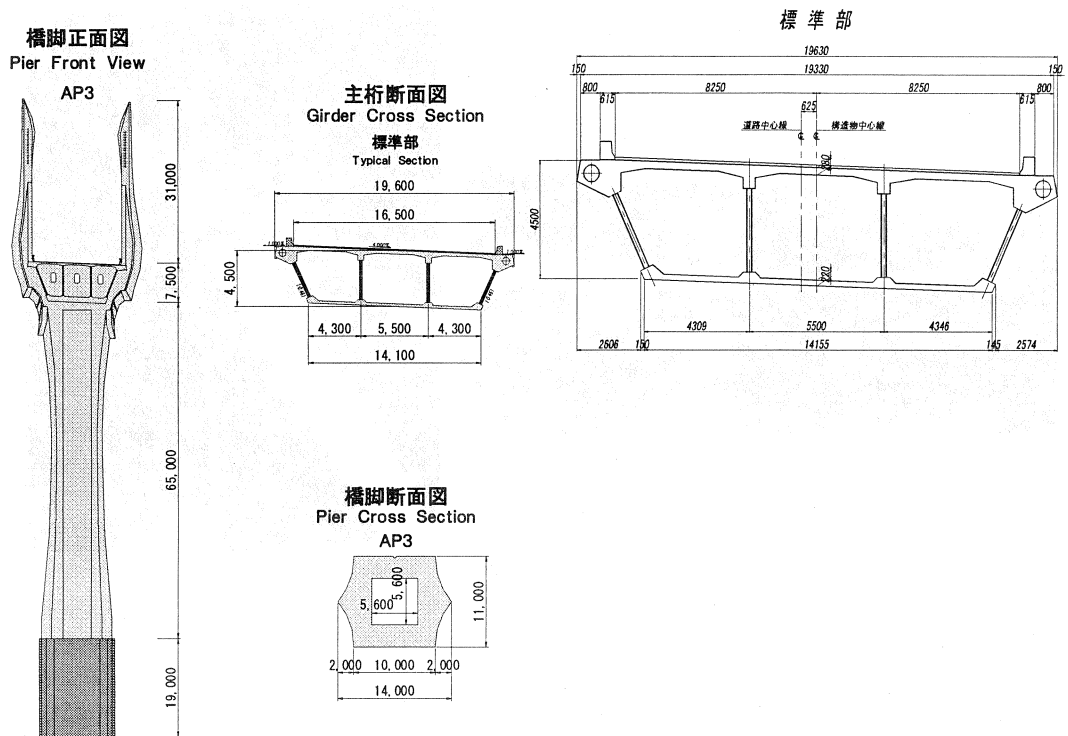
栗東橋は、第二名神高速道路の信楽 I C（仮称）から大津 J C T（仮称）の間、日本の六古窯の一つで、1250年にもおよぶ信楽焼の里として著名な甲賀郡信楽町と、草津と石部の間の宿として栄え、現在は J R A 栗東トーレーニングセンターで有名な栗太郡栗東町の行政境に架橋される橋である。かわせみの生息地や三上・田上・信楽県立自然公園に指定された緑豊かな地域を横過する。さらに、架橋地点は大戸川ダムの建設が予定されており、急峻な地形のため最大支間長が170mにおよぶ規模である（図—5）。

上部構造重量の軽減や基礎構造の縮小化、ウェブ施工の省力化、品質および耐久性の向上を目指し、世界初となるウェブに波形鋼板ウェブを用いたエクストラードーズド橋とし、さらに、幅員が16.5mあるため、3室箱桁構造を採用しており、波形鋼板ウェブ橋のマルチセル構造の採用も世界初となる。さらに横方向剛性や斜材ケーブル定着による剛性を確保するためエッジ形式を採用している（図—6）。

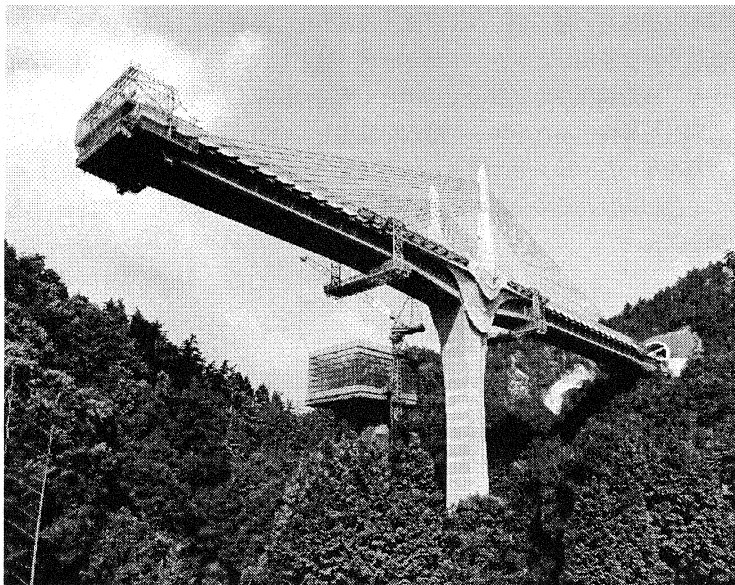
世界初となる波形鋼板を用いたマルチセル構造とエクストラードーズド形式の併用から、1/2 模型供試体におけるプレストレスの有効伝達長とその分布の状況、構造体の破壊安全性について検証を行い、現在、張出し架設を行っている（図—7）。



図—5 栗東橋一般図



図—6 主塔および標準断面図

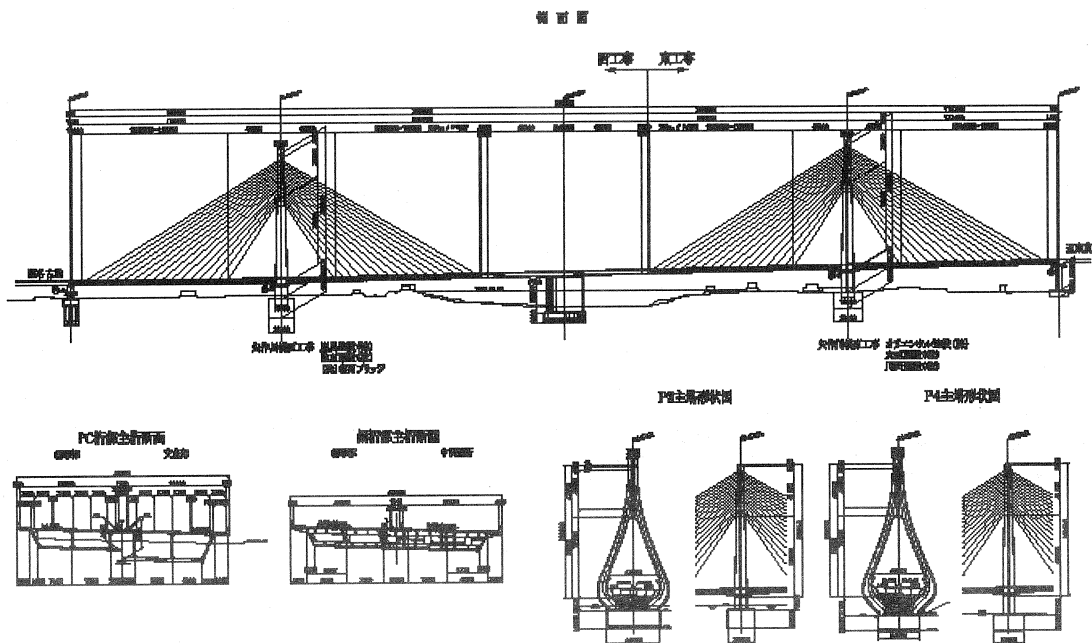


図—7 架設状況

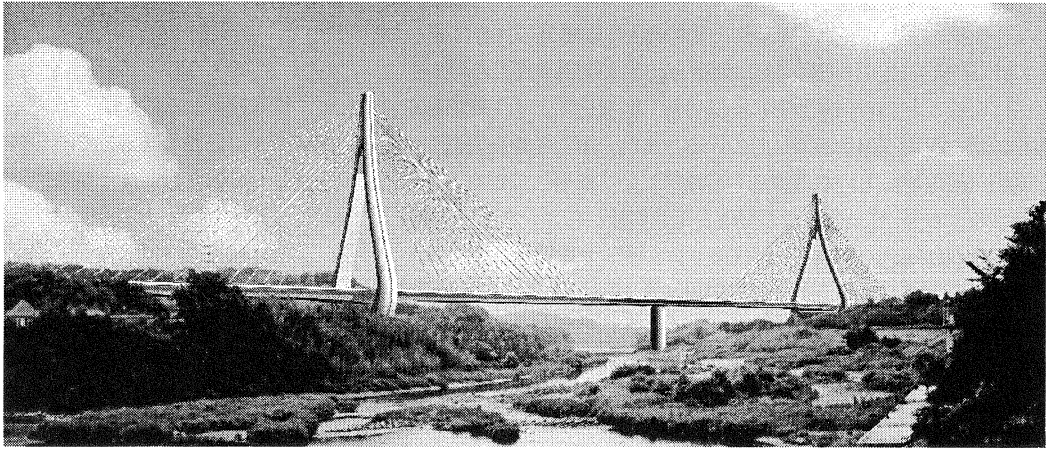
2-3 第二東名高速道路 矢作川橋

矢作川橋は、第二東名高速道路と東海環状自動車道の共有区間となる豊田JCT（仮称）と豊田東JCT（仮称）間の一級河川矢作川渡河部に架橋される4径間連続複合斜張橋である（図—8、9）。最大支間長が235.0mになることから斜張橋形式を採用し、軽量化による工費節減を目指して、世界初となる斜張橋への波形鋼板ウェブを採用（斜吊区間）している。また、第二名神高速道路の木曽川橋・揖斐川橋でも採用している鋼床版箱桁（河川部）との混合構造も本橋において採用している。さらに、コンクリート製としては我が国最大規模となる109.6mにおよぶ主塔を工費節減からコンクリート製としており、主塔のコンクリートには、設計基準強度 60N/mm^2 の高強度・高性能コンクリートを採用している。

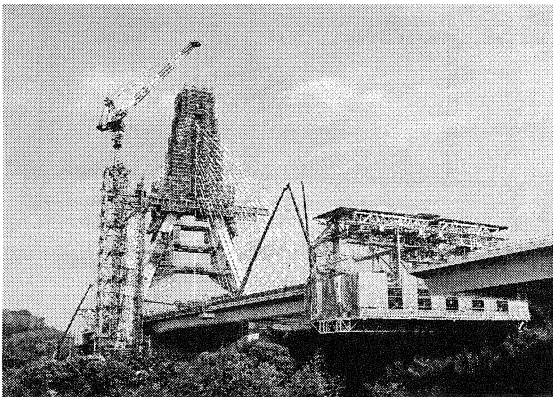
また、上下線8車線一体で標準幅員43.8mにもおよぶ広幅員を一面吊りで設計を行っている。そのため、5室箱桁の波形鋼板ウェブを採用するなど、これまでに類をみない形式としており、現在、実験・解析の結果を基に上部構造の慎重な施工を進めている（図—10）。



図—8 矢作川橋一般図



図—9 矢作川橋完成予想図



図—10 架設状況

2-4 第二東名高速道路 富士川橋

第二東名の富士川橋は、急流富士川を一跨ぎするアーチ橋で、高速道路路面を支える桁が鋼製、アーチ本体をコンクリート製とした我が国初となる鋼・コンクリート複合アーチ橋であり（図—11、12）、コンクリートアーチスパン26.5mは我が国最大となる。平成10年10月より施工を開始し、現在、上り線が完成し、下り線の施工を行っている。

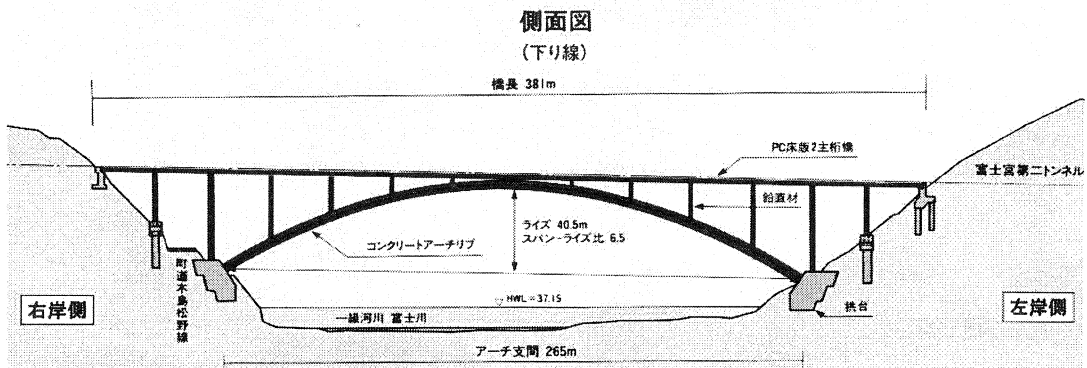
本橋では、補剛桁にPC床版鋼2主鈑桁を採用し、アーチに高強度コンクリート（50N/mm²）を用いて、橋梁全体を軽量化することにより経済性を追求している。また、クラウン部・橋脚・脚高の高い鉛直材においては鋼桁との剛結構造を採用し、耐震性を高めるとともにメンテナンスを要する支承を削減している。

さらに、本橋架橋位置は、富士川河口断層帯と呼ばれる活断層群の中にあり、想定される活断層の地盤変動を考慮した耐震設計を実施し、大規模な地震が発生しても橋梁の各部位が粘り強く挙動することにより十分な

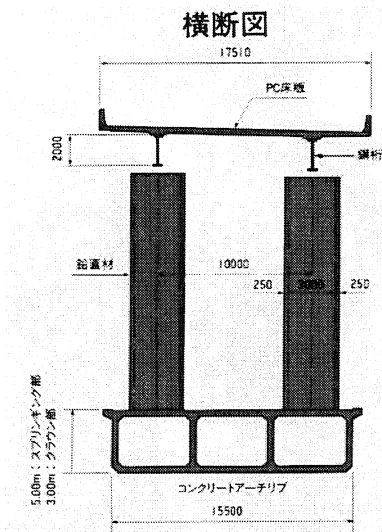
耐震性能を確保するよう対応している。

アーチリブの架設は、ピロンを併用した斜吊材による片持ち張出し工法で、アーチを全体で55のブロックに分割し、両岸から張出しを行なう架設工法である。ピロンの建造は、仮支柱を築造し、アーチリブを下から支え、そして河床より90mの高さとなるピロンをこの上に立て、斜吊材により前後バランスを取りながら、アーチを張出していく。ピロン位置を河川側に出したことにより、前側に倒れようとするピロンを支えるバックステー材の反力を、1基6,000m³となるアーチアバットに取りることができ、仮設材を大幅に削減している。

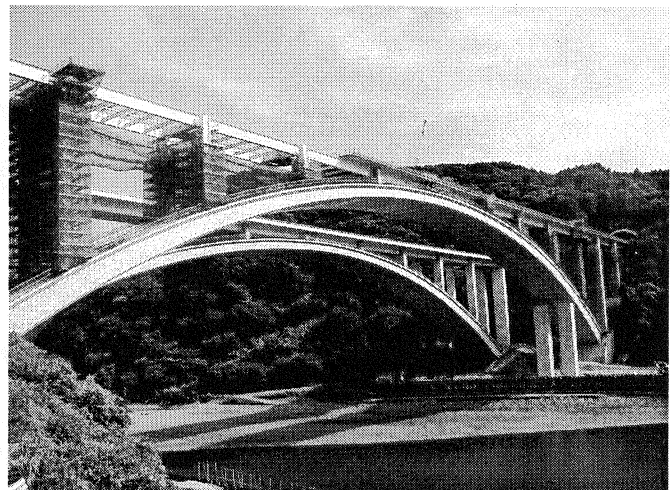
アーチリブは鉄筋コンクリート構造であるが、斜吊材の温度変化により伸び縮みし、1日最大約10cmの上下変動、さらに、1回のコンクリートを打設によって約30cmの変動がある。このため、レーザー光線による自動測量システムに、斜吊材温度の自動補正を組合せて、逐次設計データと比較することにより、高精度な施工を実現している。（図—13）



図—11 富士川橋一般図



図—12 富士川橋断面図



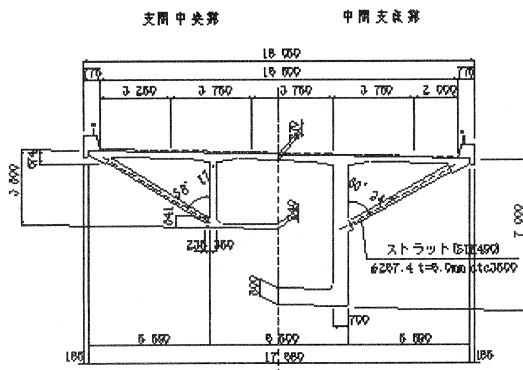
図—13 架設状況

2-5 第二東名高速道路 芝川高架橋

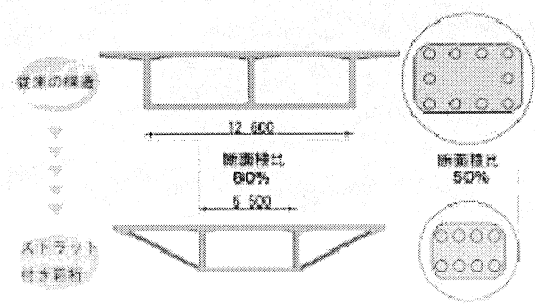
芝川高架橋は、第二東名高速道路の中で最も急峻な地形に計画されており、最大橋脚高さ83mを有する山岳橋梁である。また、周辺の地山の平均斜度は45°の急傾斜地であり、一般的なPC多室箱桁橋で施工した場合、橋脚基礎寸法が大きく、多額の費用を要し、地山への影響も大きくなることが予想された。

そこで、本橋では、コスト削減と環境への配慮から基礎及び橋脚構造を小さくし、構造物掘削による地山への影響を極力小さくすることとした。橋脚断面積を縮小するためには、上部工の箱幅を小さくする必要があるが、箱幅を小さくすると、張出床版支間が長くなることから、ストラットと呼ばれる部材により張出床版を支持する構造（PCストラット付箱桁橋）として計画した。PCストラット付箱桁橋の採用により、従来の構造に対し、基礎工・下部工は約半分の断面積で構成でき、上部工も約80%の断面積で構成することが可能となった。これらの結果、従来の構造に比べ約20%の工事費削減が可能となった。このような、ストラットで支持された床版の設計方法や構造詳細の決定方法は技術的に確立されていないことから、立体FEM解析と模型実験により床版とストラットの接合部の耐力および耐久性に関する検討を行い、ストラットと上床版の接合部は発生曲げモーメントが小さくなり剛性の高い連続した梁（エッジビーム）を設けることとした。またエッジビームは、構造上の重量な部位となる接合部であることから、ひび割れを発生させない性能とした。

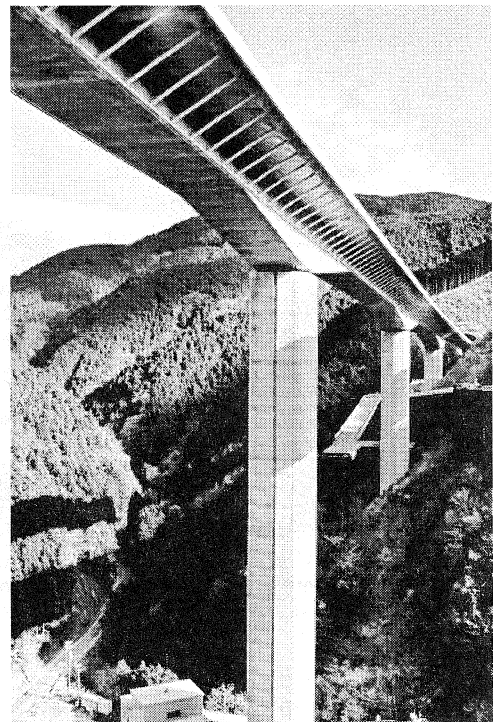
基礎工の掘削工法は、竹割型構造物掘削を採用し、地山に対する影響を最小限とすることや将来的な法面の維持に関するメンテナンス費を縮減できる構造となっている。また、高橋脚部には鋼管・コンクリート複合構造を採用し、施工性の向上も図った構造とした[1]。



図—14 断面図



図—15 ストラットの効果



図—16 芝川高架橋

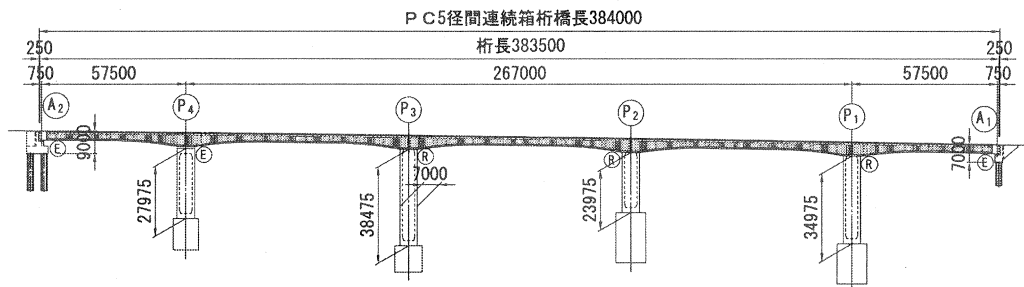
2-6 第二名神高速道路 信楽第七橋

張出架設において、全外ケーブル構造の場合はその定着突起により作業効率が下がり、施工日数の増加要因となっていた。そこで、第二名神高速道路信楽第七橋（図—17）では、架設サイクルの短縮と施工の合理化を図るために、波形鋼板ウエブの特性を利用した以下の手法を採用している。

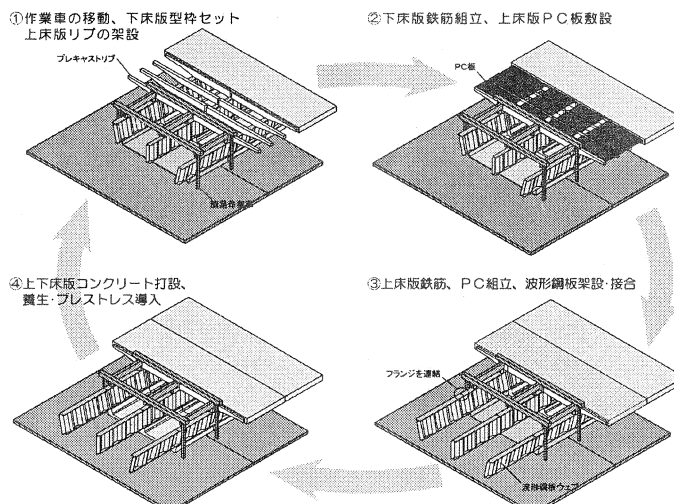
- ①波形鋼板ウエブを先行架設し、フランジ、ウエブを接合して剛性を確保することにより、架設材として利用した。
- ②吊り支保工と足場が一体化した簡易作業車により下床版を先行施工し、簡易作業車の移動後に上床版を下床版より1ブロック後に施工する。
- ③上床版の施工は、第二名神高速道路の古川高架橋で採用したプレキャストリブと埋設型枠を用いる手法を採用するとともに、配筋が過密となる張出し外ケーブル定着突起の定着面付近を、プレキャスト水平リブに一体構造として組み込んでいる。

施工サイクルを図—18に示す。本工法により、従来の張出架設サイクルに比べ6割程度に短縮している。

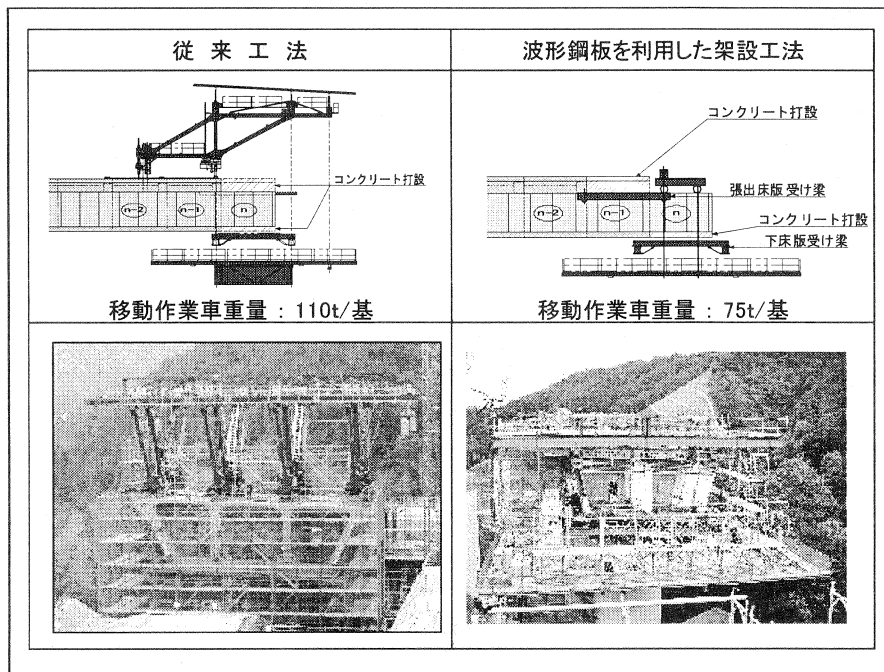
本橋で用いた簡易作業車は、波形鋼板の上フランジに移動用のレールを設置した吊り下げ構造となっているため、従来の移動作業のトラス部材等が省略でき、構造の簡素化と軽量化が可能となった。また、移動作業車の反力をとるための床版へのアンカー孔も不要である（図—19）。さらに、張出架設当初より波形鋼板上に直接組立てることが可能となったため、柱頭部の支保工施工延長を10m程度まで縮小することが可能である[2]。



図—17 信楽第七橋概要図



図—18 施工サイクル手順



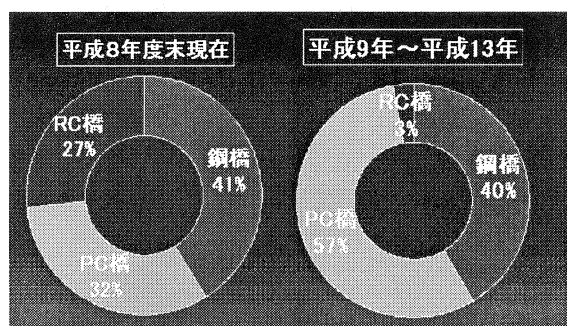
図ー19 移動作業車の比較

3. 最近の橋梁計画

3-1 橋梁形式の現状

JHにおける既設橋梁の形式別比率を図ー20に示す。平成9年以前に開通した橋の比率では、大まかに分けてコンクリート橋が60%、鋼橋が40%となっている。鋼とコンクリートの比率は、平成9年以前も最近のデータもほとんど差がないが、コンクリート橋の中で見ると、最近のコンクリート橋ではRC橋がほとんど使われていないということがわかる。

この点は、橋梁の形式選定のうえでは非常に重要な変化を示している。すなわち、名神・東名の時代には橋脚高さの低い高架区間では最も経済的であったRC中空床版橋が、経済性だけでは採用されなくなってきたのである。この間に、ひび割れ制御のできないRC構造の維持管理上の問題が形式選定の上で大きな比重を占めてきたことと、RC構造に代わるものとしてひび割れ制御が可能なPRC構造が開発され、JHの技術基準に標準化されたという大きな変化がある。維持管理の経験のなかった時代には初期コストの節減が最優先事項であったが、供用年数とともに維持管理のデータが蓄積され、維持管理の軽減も橋梁形式選定で考慮すべき重要なアイテムになってきたという例である。橋梁の形式選定では、建設コストというのは非常に重要な要素であるが、社会のニーズの変化とともに考慮すべき事項は複雑・多岐に渡るようになってきており、ま



図ー20 橋種の供用延長別比率

た各項目の評価手法についてもより定量的な手法が求められるようになった。

3-2 橋梁計画における経済性評価

JHにおける橋梁形式決定の最大要件は、建設コストの最小化である。この点については、時代が変わろうとも、JH設立当初から変わっていない。ただし、新形式橋梁や施工技術の開発、人件費・材料費のバランスなどにより、橋の建設費は変化するため、最も経済的な橋が何であるかは時代の変化とともに変わっていく。

JHのような有料道路事業では、建設費を借入金で賄い通行料金で返済するため、初期コストを最小に抑えることが総支出額の最小化に繋がることから、橋梁の建設費の評価はより重要である。ただし、注意しなければならないことは、橋の建設費は同じ形式の橋でも架設条件により大きく変わるため、架設費の算定に当たっては架設条件を十分に把握しておく必要があることと、橋梁形式検討時に積み上げる工事費はある程度の誤差を含んでいるということを理解しておくことである。精度の低い評価方法で算出した建設費にこだわって橋梁形式を選定すると、工事段階で後悔することにもなりかねない。

3-3 維持管理の容易さとLCC評価

高速道路の供用延長も7000kmを超え、橋梁の管理延長も1000kmに達している。高速道路ネットワーク整備がまだ未熟だった頃は、「早く・安く」作ることが、高速道路建設の最大の目標であったが、供用延長の増大や老朽化路線の増加とともに維持管理費も増加し、維持管理費を抑制することも同時に考えなければならなくなっている。当然のことながら、橋梁形式選定においても、環境条件に応じて維持管理費を最小にするような配慮が必要になっているし、特に最近はコンクリートの中性化や塩害など耐久性に関する性能の予測手法も確立されるようになってきており、維持管理費をより定量的に評価することが求められるようになってきた。JHにおいても、橋梁の維持管理費の最小化を目指しBMS (Bridge Management System) の確立に向け技術開発を行ってきており、科学的分析と既設橋の点検データに基づいた劣化予測とLCC評価を行うことを目指している。しかしながら、50年以上に渡る維持管理費を正確に予測することは難しく、建設費と同じ精度で評価することに無理がある。橋梁をどのように維持管理していくかを明確にイメージし、橋梁計画に反映していくことは重要であり、LCCの最小化を目指した技術開発を最優先事項としている。

3-4 環境への配慮

道路建設は、少なからず自然環境の改変を伴うため、環境負荷をいかに最小に抑えるかを考えなければならないが、一方で人工環境の創造という視点もある。特に橋梁のような道路構造物は、一般的には、自然環境に溶け込むように目立たせなくする工夫が必要とされるが、状況によっては地域のランドマークとして積極的な意匠検討を行う場合もある。橋梁計画において景観が形式決定の最優先事項になることはないが、常に周辺環境とのマッチングは考えなければいけないし、景観処理を施す場合でも、過度な工事費の増加を招かないような配慮が必要である。

橋梁計画における環境負荷の軽減としては、騒音・振動の発生要因となる伸縮装置をいかに減らすかが、現在の重要課題であり、JHの技術開発においても、免震技術の応用による連続化や、延長床版構造などによるジョイント騒音の低減などに取り組んでいる。

3-5 工事発注単位と契約方式

橋梁の形式選定では、経済性や維持管理性などの橋梁の性能に直接関わる事項の他に、その橋梁を建設する際の発注方式や発注単位なども考慮する必要がある。例えば、個々の橋について最も経済的な形式を選定するよりも、ある範囲内にある橋梁群をひとつの発注単位として捉え、形式を統一した方が工事が効率化しより経済的な場合や、将来の維持管理が容易になるなどのメリットがある。むやみに工事規模を大きくしすぎて

も工期が長くなりすぎて非効率となる場合もあるが、工事発注単位は、より大規模な方が仮設備や支保工の転用などにより共通的な経費が節減できることから、プレキャストセグメント工法などは特に有利と考えている。

4. 新しい契約制度

入札参加希望者の技術開発や得意分野を最大限に生かし、経済的な道路建設を行うため、新しい契約制度を導入している。以下に代表的な契約方式を示す。

4-1 入札時VE提案方式

本契約方式は、設計図書で明示する施工方法や目的物等の標準案に対して、入札参加希望者からVE提案を募集し、審査で適切と認められた提案の中から価格競争により契約を行うものである。VE提案とは、設計図書に定める工事目的物の機能・性能等を低下させることなく、工事費を低減させることを可能とする施工方法や目的物に関わる提案である。ただし、標準案による入札も可能としている。

従前より、施工方法に対するVE提案方式は行っているが、平成15年度より、標準工法以外にも施工会社による提案が期待できる工事に対し、目的物の変更も含めたVE提案方式を採用している。

なお、設計図書により入札を行なったあとに、設計手法も含めてVE提案を受け付ける契約方法（契約後VE提案方式）もある。

4-2 入札時VE提案付設計・施工一括発注方式

本契約方式は、一般的には橋梁全体（上下部工）を対象とし、設計と施工方法に対して入札参加希望者からVE提案を募集し、審査で適切と認められた提案の中から価格競争により契約を行うものである。本契約方式も標準案による入札も可能としている。比較的民間の技術開発の進展が著しい分野や、施工方法等に関して固有の技術を有する分野などの工事で、架橋地点に制限が少なく、自由な形式検討ができる橋梁が対象となる。

これら新契約制度は、従来の価格のみの競争から技術力の競争に変換を図ることにより、技術力を有する施工者が有利となるものである。また、経済的な道路建設を可能とするだけでなく、採用されたVE提案によって、提案者へ利益還元があることも特徴である。施工者にインセンティブが働くことによる、より一層の技術開発促進が期待される。

5. おわりに

JHではこれまで、複合構造、プレキャストセグメント、外ケーブル構造等の新技術・新工法を採用し、さらに、維持管理技術の開発を進めてきた。新技術の発展・活用には、既往の技術力だけではなく、解析技術・施工技術の更なる高度化が要求されるし、何よりも新しいものに挑戦する信念と情熱が技術者には必要である。

昨今の情勢は新たな道路整備に厳しいものであるが、今後も情熱を持ちながら積極的な技術開発を行い、経済性・維持管理性に加え、環境負荷の軽減や景観への配慮、高速道路としてのサービスの向上など、幅広い社会の要求に応えられるように、多様な視点から技術開発を行っていく所存である。100年間またはそれ以上の耐久性を有するプレストレストコンクリート橋の建設のため基本を忘れてはならないことを申し添え、関係の皆様のご協力をお願いしたい。

【参考文献】

[1] 寺田, 福永, 三浦, 中島 : 芝川高架橋の設計と施工, 橋梁と基礎, 2003. 9

[2] 村尾光弘, 宮内秀敏, 毛利俊彦, 田中克則, 佐川信之, 西村公 : 信楽第七橋, 津久見川橋の設計と施工, 橋梁と基礎, 2004. 2