

特別講演

日本道路公団における橋梁の合成・複合構造

The composite structures and hybrid structural in Japan Highway Public Corporation

山縣 敬二

Keiji YAMAGATA

Japan Highway Public Corporation has mainly used the composite structure for bridge girders so far. Recently, We try to employ rigid structure which connect rigidly steel superstructure with RC substructure ie. this structure has no shoes and expansion joints for low cost bridge maintenance. Furthermore, we attempt to use steel shapes in place of steel bars for High concrete pier.

This paper introduces some pilot projects employing the above mentioned new technology.

1. はじめに

我国の高速道路は、昭和38年に名神高速道路（栗東～尼崎間、71 km）が開通して以来30年が経過した。この間、モータリゼーションの発展とともに高速道路の整備も急速に進み、平成7年8月には供用延長が、5,815 kmに達しており、我国の社会・経済の発展に欠くことのできない極めて重要な基盤施設となっている。

しかし、未だ国土開発幹線自動車道の計画総延長11,520 kmの約半分が完成したにすぎず、今後は第二東名・名神や、急峻な山岳地帯を通過する横断道が建設の主体となってくるため、橋梁・トンネル等の構造物の比率が非常に大きくならざるを得ない。第二東名・名神では橋梁の比率が路線延長の40%にもおよび、事業費に占める割合は更に大きなものとなっている。

一方、内外価格差の問題、採算性の問題など、高速道路を取り巻く環境は非常に厳しいものがあり、建設費・維持管理費の節減が強く要請されているところである。また、建設事業における技能労働者の不足・高齢化の問題・工事の安全性の向上など、様々な問題も同時に解決しなければならない。

このような背景のもとに、JH日本道路公団では、経済性を追求した新構造・工事の省力化・プレキャスト化などの新技術・新工法の開発を積極的に進めているところである。

「合成構造」については、JHでは主に経済性の理由から鋼合成桁を多く採用してきたが、最近では将来の維持管理を軽減する目的で、支承・伸縮継手をなくし、鋼上部工と下部工を剛結した構造を検討・実施している。また、鉄筋の代わりに鋼管や鋼製エレメントを用いて高橋脚の施工を省力化する試みも行われている。本稿ではこれらの試みの一端を紹介するものである。

2. 合成構造

「合成構造」とは同一断面に異種材料が組合わさって構成され、一体として作用するものである。ここでは高橋脚について2つの事例を挙げてその特徴等を述べる。

2. 1 鋼管コンクリート柱

— 九州横断自動車道：横道橋 —

高橋脚の合成構造として、鉄筋コンクリート橋脚内部に外面リブ付鋼管を配し、帯鉄筋にPCストランドを巻き付ける鋼管コンクリート合成構造を九州横断道、横道橋で採用している。これによると従来のRC構造に比べ、以下の長所を有する。

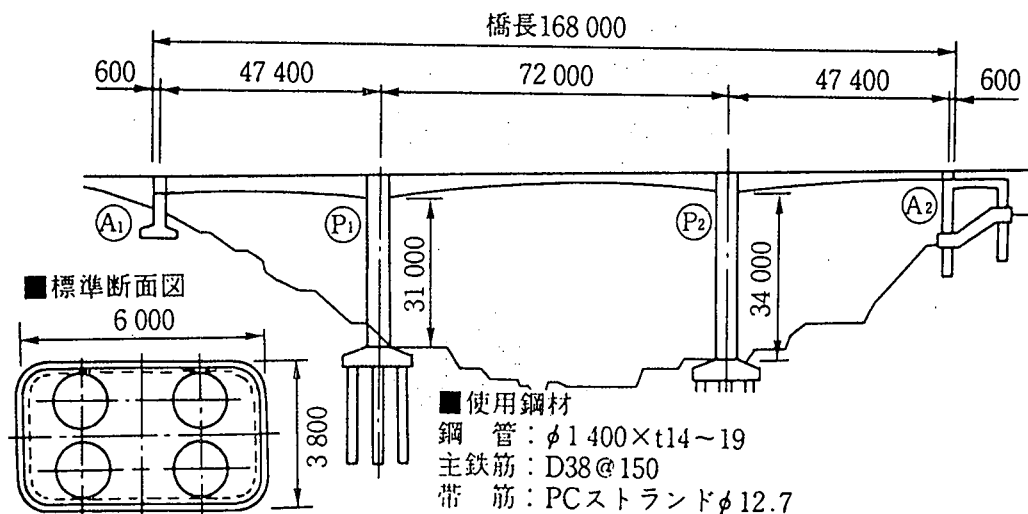


図-1 横道橋 一般図

- ① 主鉄筋量が大幅に低減できる。
- ② 帯鉄筋の加工・組立作業が軽減できる。
- ③ 鋼管を内型枠として利用できることから、中空構造橋脚において内型枠が省略できる。

更に本橋梁では、コンクリート作業として、鋼管を反力台としたスリップフォーム工法を採用し、型枠の組出し作業の削減・急速化を図っている。

次に設計の概要及び試験等で確認した事項を以下に示す。

- ① 鋼管とコンクリートの付着については外面リブ付鋼管の強度試験を行い、鋼管を鉄筋に換算するRC方式により行うこととした。
- ② せん断力に対する設計はコンクリート部が鋼管より先にせん断破壊ひずみに至ることから、RC部のみで全せん断力を受け持つものとした。また以下の構造的特徴から終局耐力及びじん性が、従来のRC構造に比べ大幅に向上する。
- ③ 中空部が鋼管により拘束され、コンクリートの断面形状が保持されている。
- ④ 高強度鋼材のPCストランドを帯鉄筋として使用し、ら旋巻きしている。
- ⑤ 鋼管が大きなせん断耐力を保有している。

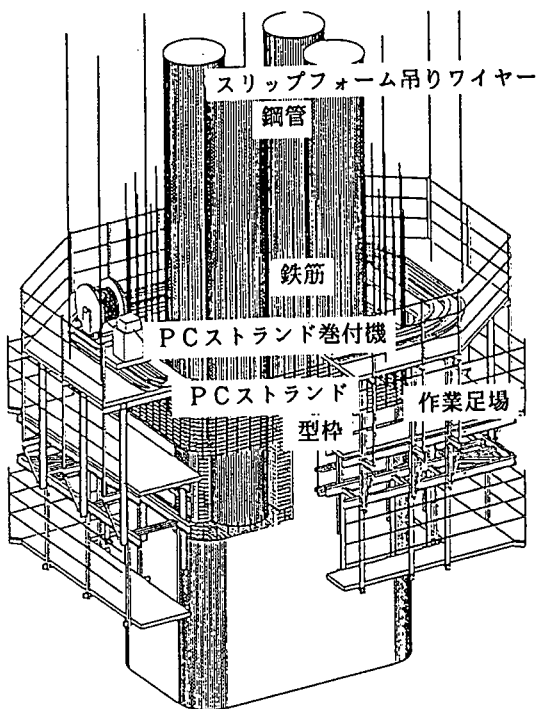


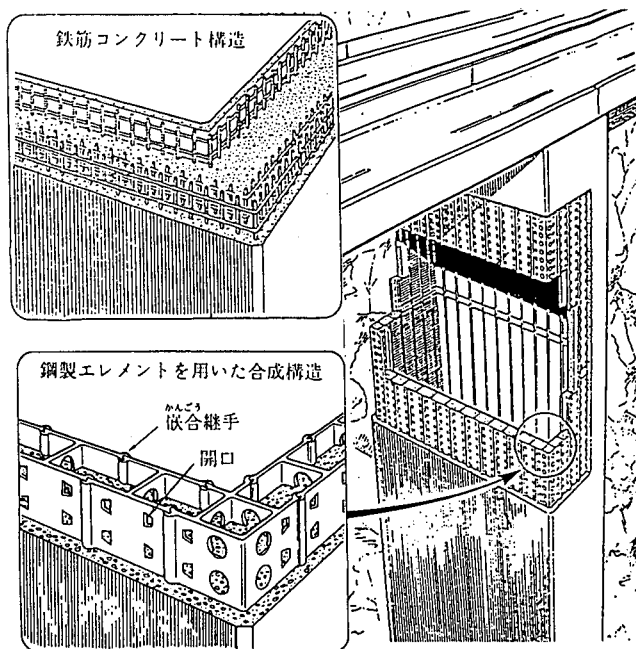
図-2 橋脚断面 (スリップフォーム装置)

2. 2 鋼製エレメントによる高橋脚の試験施工 — 上信越自動車道：入田橋 —

従来の鉄筋コンクリート構造の鉄筋の代替として、嵌合継手を有する鋼製エレメントを用いた合成構造について、上信越道の入田橋の下部工で試験施工を実施した。ここでは各種試験（表－1 参照）を実施し、鋼製エレメント合成橋脚への適用に関する設計方針の確立を行い、現場での試験施工を通して各種試験での検討項目の確認を行った。

鋼製エレメント構造の特徴を以下に述べると、

- ① 鋼製エレメントの部材は全て工場加工であるため、現場での加工ヤードが不要である。
- ② エレメント部材自体の剛性が大きく自立が可能のため組立鉄筋が不要となる上、これを用いて型枠や足場設置が容易となる。
- ③ エレメントは、主鉄筋に換算することができるので部材数が少なく、また横方向鋼材の機能も兼ねているので帯鉄筋が不要となる。
- ④ 以上のことから架設部材数が少なく、大型の部材となり、機械化施工による工期短縮が図れる。



図－3 鋼製エレメント合成構造橋脚概念図

表－1

実施した試験項目
鋼製エレメントとコンクリートとの付着強度試験
R C 構造矩形橋脚模型実験
合成構造矩形橋脚模型実験
合成構造円形橋脚模型実験
鋼製エレメントの嵌合部充填・引張・せん断・剝離試験

3. 鋼構造とコンクリートの混合構造

混合構造については、鋼構造とコンクリートの結合によるものが多いがここでは、(1) 鋼上部工とコンクリート橋脚・橋台を剛結したラーメン構造、(2) 鋼上部工とコンクリート上部工の結合構造、の2点について述べる。

(1) 鋼上部工とコンクリート脚の混合構造による結合では以下の特徴が挙げられる。

- ① 維持管理上の問題点となりやすい支承が不要となり、維持管理の面で有利である。
- ② 上下部工一体の構造であるため、耐震性が向上する。
- ③ コンクリートの剛結構造に比べ、上部工の重量が軽いため、下部工・基礎に対して有利である。

(2) 鋼上部工とコンクリート上部工の混合構造では、以下の特徴が挙げられる。

- ① 上部工の連結化により、橋脚部での架け違いが無くなることから、伸縮装置を設置せず、走行性の向上・維持管理の削減が図れる。
- ② 連結化により、上部工が連続構造となるので耐震性が向上する。
- ② 各々の重量を考慮した結合により、架橋条件からの支間割のアンバランスを吸収できる。

3. 1 鋼桁橋とコンクリート脚のPC鋼棒による結合 — 山形自動車道：阿古耶橋 —

鋼橋とコンクリート脚の剛結構造の例として挙げられるのが阿古耶橋で、鋼3径間桁の中間支点上を箱桁としてコンクリートを充填し、プレストレスを与えたPC鋼棒で結合した形式としたものである。この設計に用いられた考え方及び構造の特徴を以下に示す。

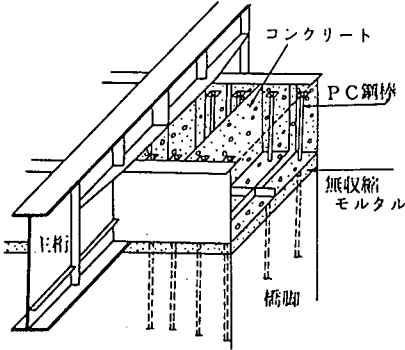


図-4 剛結部

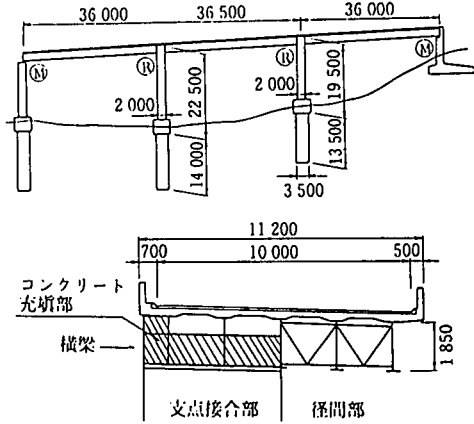


図-5 阿古耶橋

- ① 設計に用いる断面力は、平面骨組計算より求められた、節点の軸力・曲げモーメント・せん断力とする。
- ② 接合部は、鉄筋やコンクリートで補強を行わずに完全に縁切りとし、PC鋼棒が上部工と橋脚を貫通する構造とした。PC鋼材のプレストレス量は常時の（死荷重+活荷重）時において引張応力を生じないものとする。
- ③ コンクリートの有効断面は、常時は開口しないため全断面有効とするが、地震時は横梁とコンクリート脚間が開口すると考えられるため、引張側コンクリート断面を無視した断面とする。
- ④ 接合部横梁の設計は、横梁腹板にはプレストレス側圧の他に、柱頭部の曲げモーメント及び軸力による引張応力が作用するものとして計算する。

3. 2 鋼上部工とコンクリート橋脚・橋台を剛結したラーメン構造 — 上信越道：観音沢川橋 —

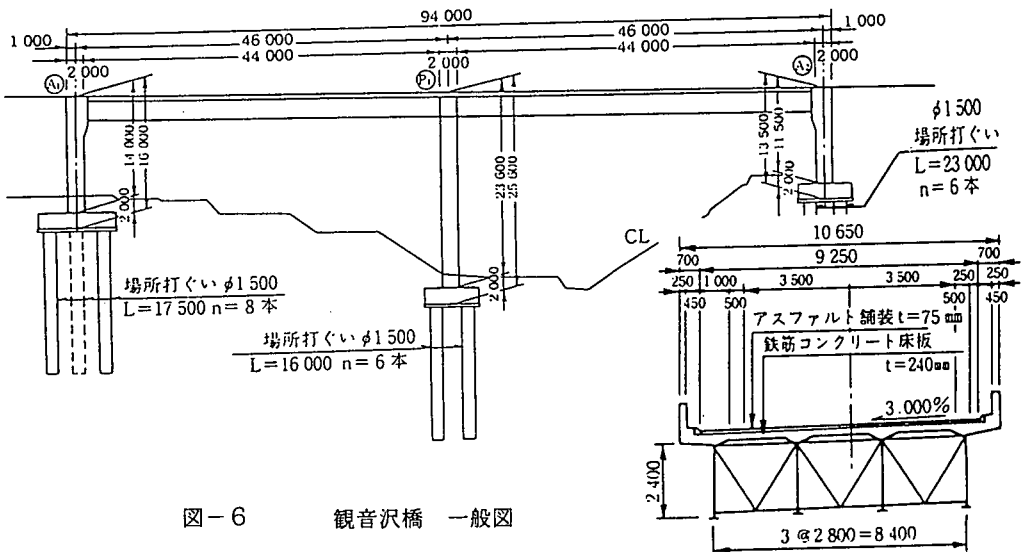


図-6 観音沢橋 一般図

観音沢川橋は2径間連続鉄桁橋であるが、下部工との固定条件を(1) 中間橋脚の剛結部は、「鋼鉄桁にスタッドジベルを配置したRC構造」、(2) 橋台部では「軀体を鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造とした剛結」、という3支点とも剛結した構造とした。これは特に中間橋脚の剛結方法として前記、阿古耶橋で採用したPC鋼材を用いた剛結構造に比べ施工性に優れているものである。

以下に各々の基本方針と設計特徴を示す。

(1) 中間橋脚の剛結部：鋼鉄桁にスタッドジベルを配置したRC構造

- 1) 基本方針として、鋼部材に作用する断面力を、鋼部材に設置されたスタッドジベル・鋼材・コンクリートの接触面のせん断抵抗によって、コンクリート部材に伝達させることを基本と考える。
- 2) 設計に用いる断面力は平面骨組により求められた節点の軸力・曲げモーメント・せん断力とする。
- 3) 設計断面力のうち、鉛直力に対しては鋼桁下フランジ面で受け持ち、ジベルは寄与しないものとする。これは初期において水平方向スタッドは、コンクリート打設時のブリージングによりスリップするためである。曲げモーメント・水平力に対してはスタッドのみで受け持つこととする。
- 4) スタッドは主桁ウェブ両面、上フランジ下面、下フランジ上面に配置しすべて有効に働くものとする。
- 5) 接合部の回転軸については、梁及びラーメン軸線の交点とする。

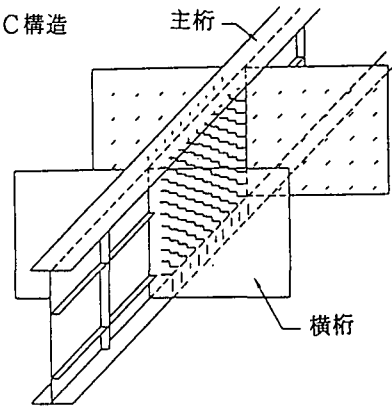


図-7 剛結部 中間橋脚

(2) 橋台部の剛結：SRC構造の橋台との剛結

- 1) 桁（鋼上部工）に作用する断面力を、橋台軀体部に配置された鉄骨鋼材を介してフーチングに荷重を伝達する。軀体部の設計はSRC構造として解析し、その方法は累加強度方式とした。
- 2) 隅角部は応力の方向が急変し、伝達機構が複雑である。このため第一添接位置までは、梁理論により求めた断面力を用いて鋼断面のみで設計した。

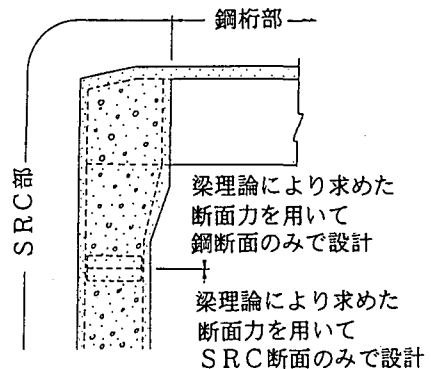


図-8 剛結部 橋台

なお本橋は現在施工中であり、完成後各部の計測を行い、今後の課題を抽出することとしている。

3. 3 鋼鉄桁橋とRC中空床版橋の結合 — 松山自動車道：松山高架橋 —

松山高架橋は、約4.7kmの連続高架橋で、標準形式をRC中空床版橋としている。このうち国道33号の交差部では、支間34mの鋼鉄桁で架橋するものだが、ここに側径間であるRC中空床版と結合した3径間連続複合構造を計画している。ここでは、基本設計の考え方、模型実験による結果を述べる。

設計の考え方としては、結合部はRC構造と鋼構造との合成構造として抵抗すると考えられるが、結合区間が短く、RC構造と鋼構造の移行区間であることから、各々単独の断面で作用外力に抵抗するものとして設計している。設計方針を以下に示す。

- ① 結合部はRC構造と鋼構造との合成断面であるが、作用外力に対し各々単独で抵抗する。
- ② 横桁は鋼断面のみで抵抗するように設計する。
- ③ 応力の伝達は鋼構造部からスタッドジベルを介してRC構造部に伝わるものとする。

また設計法の妥当性の検証のため、(1) スタッド要素試験、(2) 結合部模型試験（1/3サイズ）を実施した。

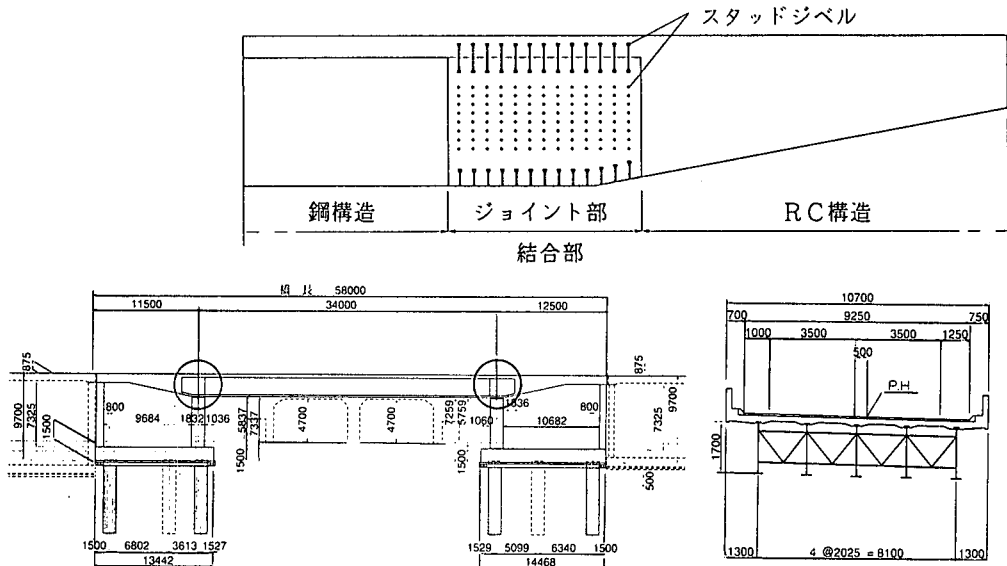


図-9 松山高架橋 鋼桁部一般図

その結果を以下に示す。

- ① スタッドの荷重分担は、低荷重レベルではスタッドの配置位置によりばらつきが見られるものの、変形性能に優れるため、荷重レベルの増大に伴い均等化する傾向にある。従って、設計ではスタッドの荷重分担を均等と考えて設計してもよい。
- ② スタッドを用いた結合構造は、合成構造として十分な耐力を有している。またRC桁と鋼桁の結合部ではスタッドを介して滑らかに応力伝播がなされている。
- ③ スタッドを用いた結合構造は、RC桁との剛結構造として十分な剛性を有し、連続構造としてよい。

4. おわりに

以上主に日本道路公団で実施してきた鋼・コンクリート構造について述べてきたが、この他にも

- ・ 鋼製エレメントを用いた深礎杭。
 - ・ 東名改築での拡幅に伴い、一晩での一括撤去・架設を可能とする鋼コンクリート合成床版橋の採用。
- 等が既に施工されている。

また第二東名・名神の長大橋梁では、

- ① 複合エクストラード橋（PCエクストラード橋で、支点に近い圧縮部の主桁にPC構造を、支間中央部の引張部の主桁に鋼構造を採用したもの）
 - ② 複合アーチ（アーチリブ及び支材をコンクリート、補剛桁を鋼部材）
- 等が計画されている。

以上に述べたように「合成構造」の構造の優位性の観点から、今後益々新しい合成構造・複合構造の提案がなされるであろうが、その挙動については、構造系にそれぞれ異なると思われるので、施工中・完成後を含めた部材の計測等を行い「合成構造」の有効性や課題を抽出することが重要であると思われる。

参考文献

- 『鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン』 土木学会
『複合構造橋梁』 技報堂出版 川田忠樹、野村國勝、梶川靖治