

(45) コンクリート充填鋼製主桁を用いた複合橋梁の提案

A proposal of hybrid-bridges using concrete filled steel girders

中村俊一

Shun-ichi Nakamura

Ph.D. 東海大学教授 工学部土木工学科 (〒259-1292 平塚市北金目 1117)

In order to make steel bridges more economical the author proposes hybrid-bridges using concrete filled steel girders which have high strength and ductility. Steel mill products such as pipes and H-beams or cold forming work during the fabrication process can substantially reduce the welding volume and must be used as the main girders. Five original new composite bridges have been developed using the concrete filled steel pipes or cold-formed steel girders. The basic structural behavior and strength of these new bridges have been studied by analyses and experiments, and then they have been designed for the target projects considering the construction method and evaluating the construction cost. These studies show the new composite bridges are feasible and economical.

Keywords: hybrid-bridges, concrete filled steel girders, pipe girder bridges, U-girder bridge, cable-stayed pipe bridge, suspended pipe arch bridge, composite tower

1. 緒言

新設の道路および鉄道橋梁においては、鋼橋の建設量が減少し、PC橋梁の建設量が増加する傾向が認められる。この最大の理由は、鋼橋の建設費が高いことである。鋼橋の低コスト化を図るためには、桁製作時の溶接加工量を削減することが有効であり、鋼管やH形鋼などの製鉄所で製造される製品を利用したり、鋼板をプレスにより冷間成形して主桁にする方法が考えられる。さらに、これらの鋼製主桁断面内部にコンクリートを充填すれば、鋼板の局部座屈が抑制され耐力・じん性が向上できる。この際、充填材として通常のコンクリートのみならず、非常に軽い気泡モルタルや、逆に鉄鉱石を骨材にした重いコンクリートなどを構造部位に応じて使いわけることにより、断面力および反力のバランスが向上できる。

本論文では、この設計思想に基づき、5つの新しい複合橋梁形式を提案し、これらの構造・設計法・施工法について紹介する¹⁾。

2. 上下部一体化した鋼管桁橋梁

第一は、図-1に示す「鋼管を用いた鉄道用橋梁システム」である。橋脚はコンクリート充填鋼管とし、それを鋼管杭の中に突っ込み、両者の隙間にコンクリートを充填し一体化する「一柱一杭」構造とする²⁾。

上部桁にも鋼管を用い、スパン中間部の正曲げモーメント部ではスタッドによりRC床版と合成する。中間支点部ではRC床版は引張になるため、断面計算上は無視し、鋼管内にコンクリートを充填することによりコンクリート充填桁として断面計算する。また、このコンクリート充填鋼管桁には騒音・振動抑制効果を期待している。ただし、スパン中央部の鋼管桁内部には比重1.0程度の気泡モルタルを充填し、死荷重を抑制している。

この鋼管鉄道橋は鉄道建設公団と共同開発したものであり、すでに上部鋼管桁は新幹線用橋梁として建設中である。主な研究結果としては、鋼管とコンクリート床版の一体化を調べるため曲げ試験を実施し、RC床版が圧縮破壊するまでは鋼管と床版は一体として働き、ひずみ分布は平面保持の原則に従うことを確認した³⁾。また、鋼管断面に溶接されたスタッドの押し抜きせん断試験により、円形断面上のスタッドは通常のI桁フランジ上のスタッドと同程度のずれ止め強度を有することを確認した³⁾。つぎに、モルタルに気泡を混入し、通常のコンクリートより重量、圧縮強度およびヤング係数が小さい気泡モルタルを充填した鋼管の曲げ試験を実施した結果、圧縮強度が50kg/cm²程度になると曲げ耐力は非充填鋼管に対し2割程度上昇し、じん性も大幅に向上することを見出した⁴⁾。

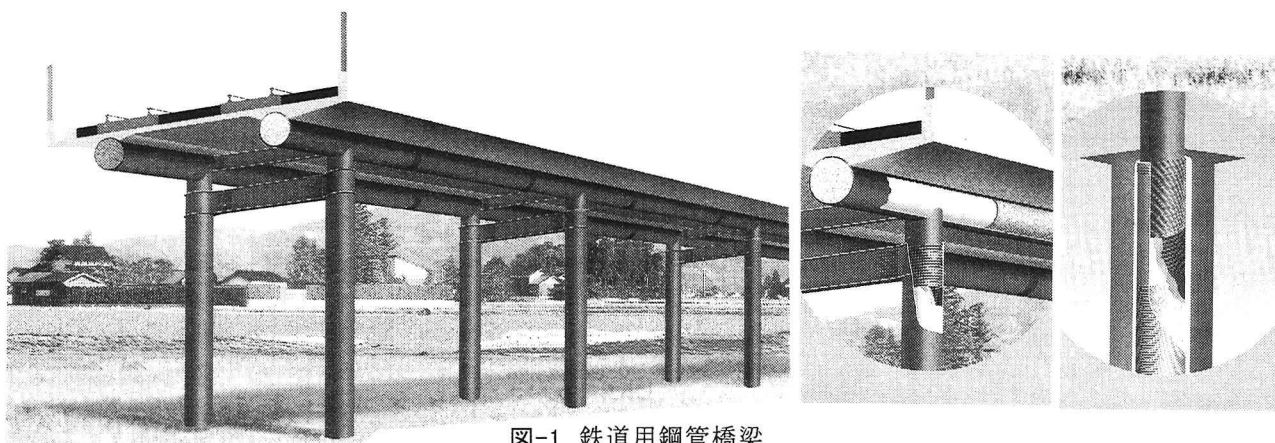


図-1 鉄道用鋼管橋梁

さらに、コンクリートおよび気泡モルタルを充填した鋼管桁、非充填鋼管桁およびコンクリート桁の部分モデルを製作し、それを打撃加振して騒音・振動を発生させ、試験体に発生した騒音・振動レベルを相対比較した。その結果、気泡モルタル充填桁の発生レベルは鋼桁より低下し、さらにコンクリート充填桁ではコンクリート桁のレベルにほぼ等しくなる程度まで改善できることを確認した⁹⁾。

また、大地震に対する上下部一体構造の耐震性能を動的解析により照査し、強度および変位は許容値以内であることを確認した⁶⁾⁷⁾。

できる。さらに、図-3に示すように、スパン中央部はRC床版と合成し、中間支点部はコンクリートをU桁内に充填しPC鋼線で緊張力を導入する「部分PC構造」とする。この際、U桁がコンクリート打設用の型枠にもなっており施工的にも有利である。

支間中央部および中間支点部のU断面モデルを製作し、その曲げ試験を実施し、RC方式による計算方式が適用できることを確認した⁸⁾。また、スパン60mの3径間連続道路橋を試設計し、従来の鋼I桁に比較し、2割以上の工費削減が期待できることも見出した⁹⁾。

3. 鋼U桁橋

第二の例は、図-2に示す「U桁橋」である⁸⁾⁹⁾。一枚の鋼板をプレスにより冷間成形してU形の鋼主桁とする構造であり、従来のプレートガーダーに比較して溶接量は著しく減少する。全断面が同一板厚になるためビルトアップ桁より若干の鋼重増加になるが、製作費の減少がはるかに上回ると推定される。しかも、ウェブの板厚が相対的に厚いため補剛材が少なくなり、加工量がさらに削減

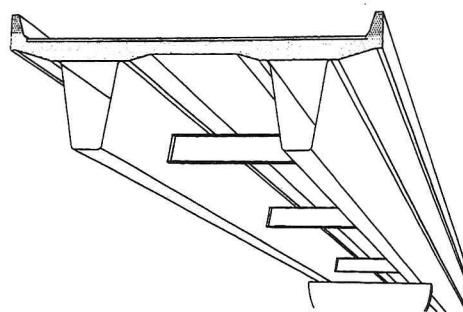


図-2 鋼U桁橋

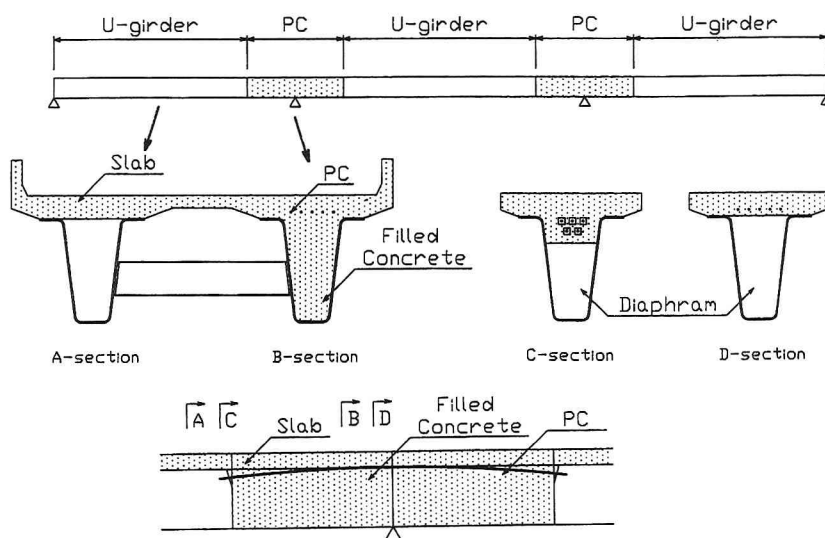


図-3 鋼U桁橋の構造

4. 鋼管斜張橋

第三の例は、図-4 に示す「鋼管斜張橋」である¹⁰⁾。鋼管を2主桁として用い、側径間の鋼管桁内部にはなるべく重いコンクリートを充填して、端支点に発生する負反力を抑制する。主塔部では圧縮力が卓越するため、やはり鋼管内にコンクリートを充填し圧縮力に抵抗させる。一方、スパン中央では圧縮力は作用せず、しかもなるべく軽くしたいため鋼管内は非充填とする。スパン中央と主塔間には軽量コンクリートを充填し、なめらかに力の伝達が行われるための遷移区間とする。

床組構造の一例を図-5 に示すが、両主桁間に横桁と縦桁を配し、その上に PC 床版を設置する。ケーブル定着構造の一例を図-6 に示すが、ケーブルは鋼管主桁を貫通して鋼管下面に定着する。し

たがって、ケーブル張力が直接主桁に伝達されるため、力学的にも合理的である。

多々羅大橋の代替案として鋼管斜張橋を試設計し、静的外力および風荷重に対して設計可能であることを確認した。鋼管主桁は 2.5m 径となり、鋼管斜張橋の鋼重は鋼箱桁の半分以上であった。また、鋼管は風に対する抗力係数が小さいため、耐風安定上も好ましいと考えられる。松本らは主スパン 600m の鋼管斜張橋に関する風洞実験を実施しており、渦励振は発生するものの、フラッターなどの発散振動は生じないことを確認している¹¹⁾。

今後は、床版および床組構造、床版のクリープ・乾燥収縮解析、ケーブル定着部の構造、最適主塔高さなどについて詳細に検討する予定である。

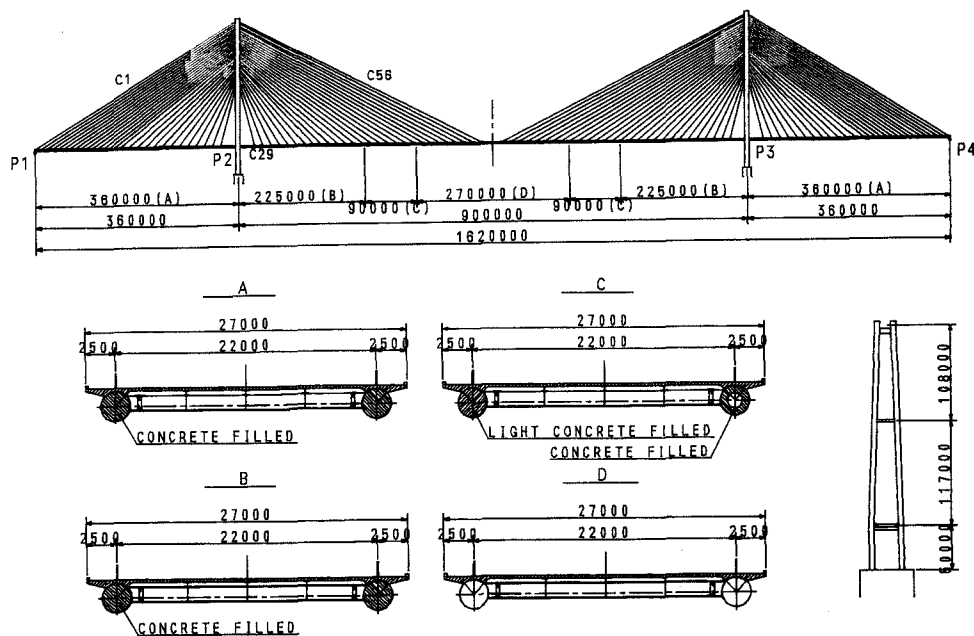


図-4 鋼管斜張橋

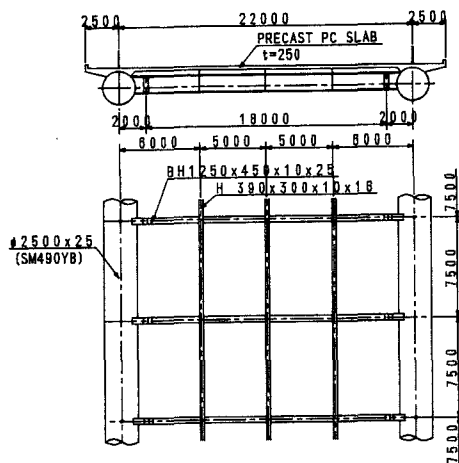


図-5 床組構造

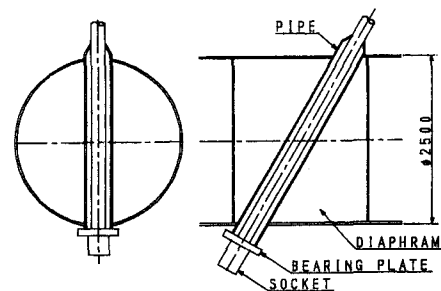


図-6 ケーブル定着部

5. 吊りアーチ橋

第四例は、吊り橋とアーチ橋の中間的な構造特性を有する吊りアーチ橋である(図-7)。アーチリブにはコンクリート充填鋼管を用い、これをハンガーを介してケーブルで支え、かつ主塔の基部に固定する構造である。したがって、ケーブルとアーチリブの両方で荷重を分担して受け持つことになり、吊橋より剛性が高く、かつ従来アーチ橋に比較してアーチリブの圧縮軸力およびアンカー部での反力が軽減できる。

架設手順を図-8に示す。アーチ橋の架設には、ケーブルクレーン工法が用いられることが多いが、本工法の架設手順はこれと同様であり、主塔・ケーブルが本設構造物となる点のみが異なる。また、アーチリブの閉合後に、ケーブルにプレストレスを導入するか、アーチリブ支点部をジャッキダウンすることにより、主ケーブルとアーチリブの荷重分担率を制御できる利点を有する。

本形式を用い、スパン 200m の歩道橋を試設計したが、鋼管径は 500mm、ケーブルは 120mm 径となった。また、床版にはオープングレーティングを用い、耐風性能に配慮した(図-9)。さらに、CG を用い、種々の角度から景観性を評価した。なお、詳細構造検討は現在実施中である。

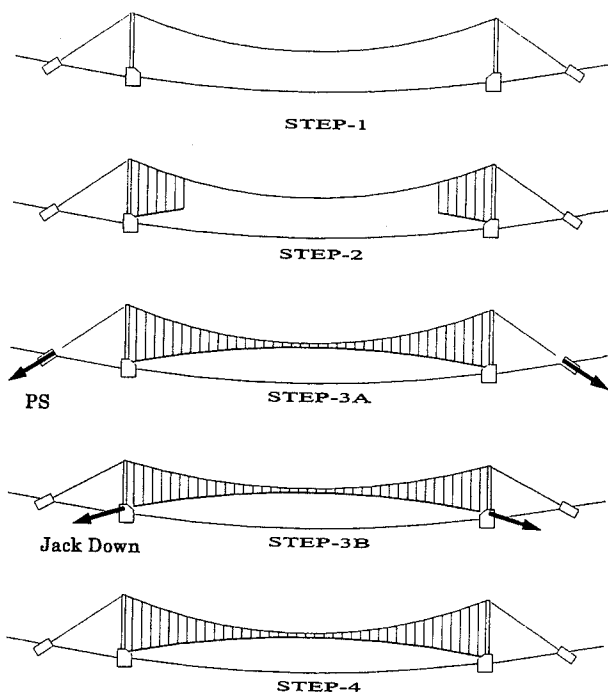


図-8 施工手順

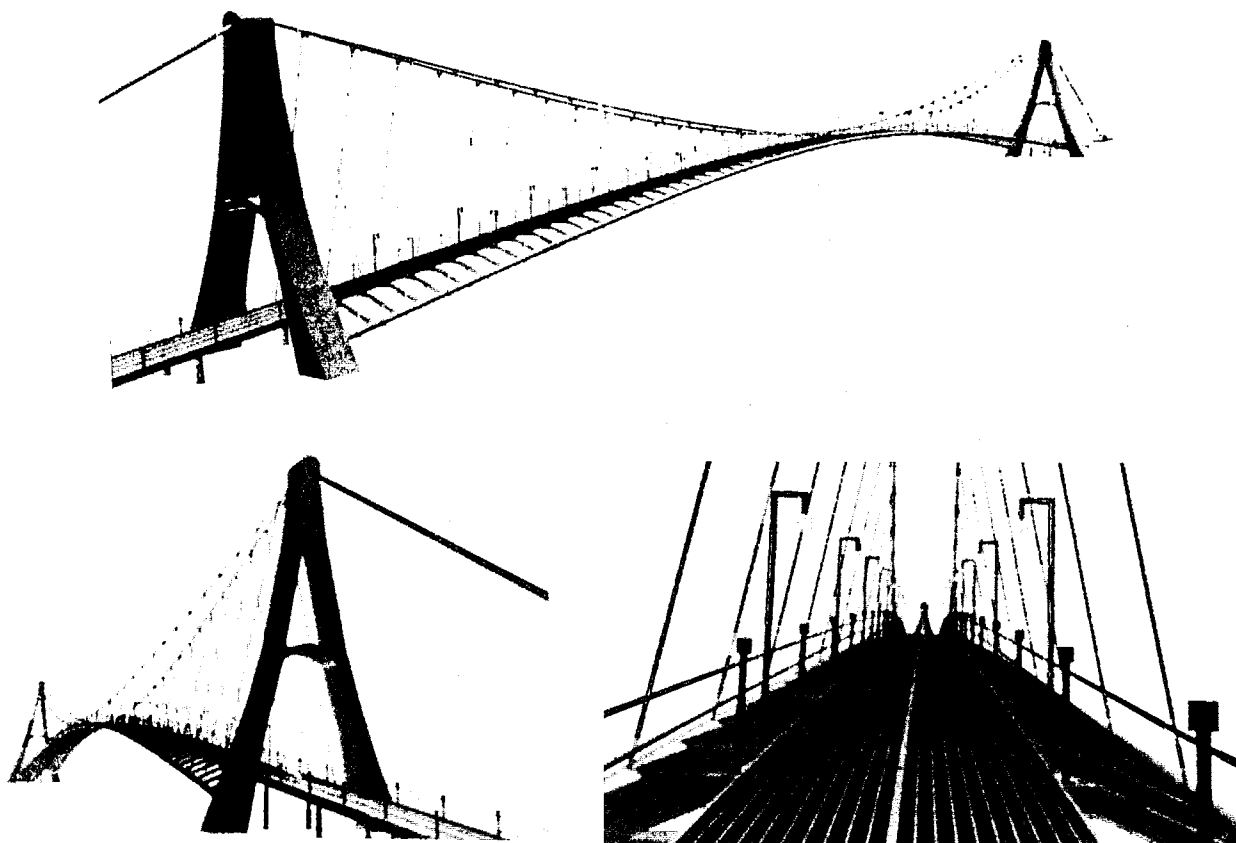


図-7 吊りアーチ橋

図-9 グレーティング床版

6. 吊橋用合成主塔

第五例は、2重鋼殻の中にコンクリートを充填した合成主塔である。近年、鋼製またはコンクリート製とは異なるサンドイッチ形式の合成橋脚が開発され、高さ50m程度の実橋脚にも適用されている¹²⁾。筆者らは、この形式を発展させた二重鋼板により囲まれた内部をコンクリートで充填する吊橋用の合成主塔を考案した¹³⁾。構造概念を図-10に示すが、コーナー部に角鋼管または鋼管を配置し、それらを二枚の鋼板からなるサンドイッチ形式の鋼製エレメントで結合し、内部をコンクリートで充填するものである。鋼製エレメントとコーナー鋼管柱は、鋼矢板で用いられている嵌合継手を用いて結合し、鉛直継手は高力ボルトまたは現場溶接を用いる。ただし、嵌合継手の代わりに高力ボルト結合を用いることも可能である。

吊橋主塔には死荷重作用時には非常に大きな圧縮軸力が作用し、活荷重および地震力作用時には曲げモーメントも作用する。本合成主塔の構造的な特徴は、圧縮軸力は主にコンクリートで負担し、曲げモーメントに対しては鋼板が負担することである。また、鋼板内部に充填したコンクリートはひびわれが生じにくく、クリープや乾燥収縮も小さい。さらに、鋼板自体が型枠になっており、コンクリート充填作業も容易である。

明石大橋および白鳥大橋と同規模の長大吊橋を対象とし、本合成橋脚の長大吊橋への適用性を検討した。まず、死荷重および活荷重載荷時に発生する断面力を求め、断面の耐力力の照査し、さらに、応答スペクトル法により耐震性能も照査した。明石大橋クラスの主塔詳細構造を図-11に示すが、基部の外形寸法は7x15mと従来の鋼製主塔と同一であるが、鋼重は約半分であった。

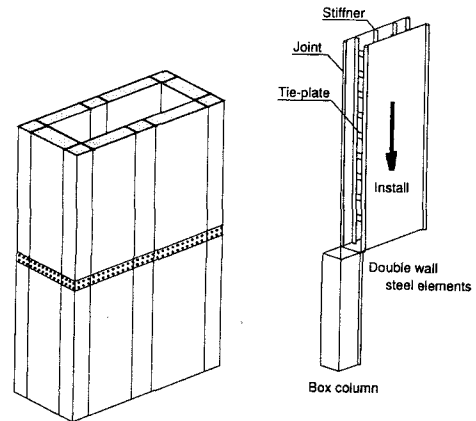


図-10 合成主塔

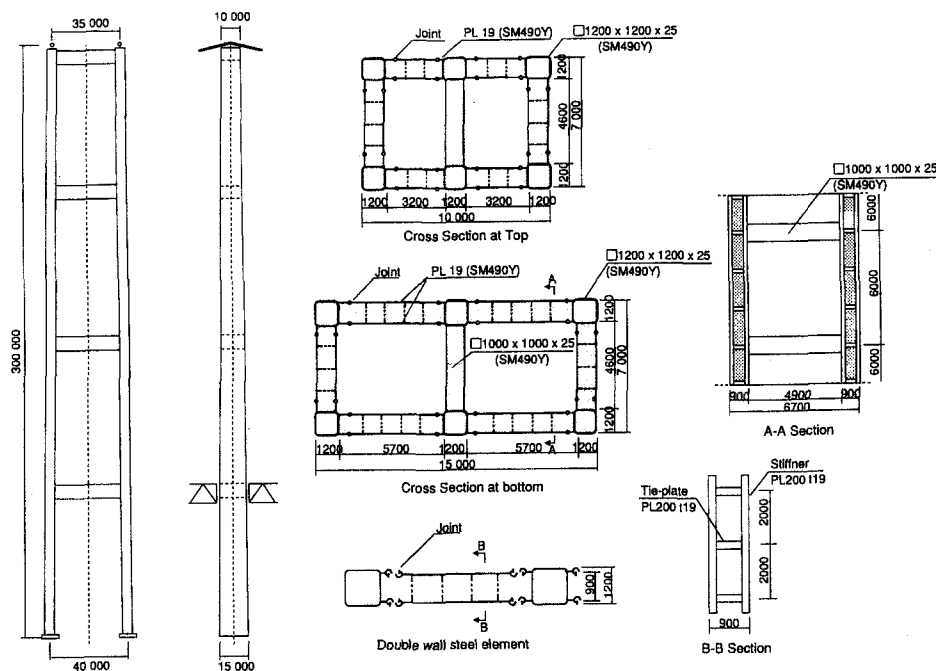


図-11 合成主塔の構造詳細

7. 結論

本論文では、コンクリート充填した鋼製主桁を用いた新しい複合橋梁を提案し、その全体および詳細構造を検討した。その結果、このような新しい設計思想に基づく鋼・コンクリート合成橋梁は鋼橋の低コスト化に寄与でき、従来橋梁と比較して構造的および施工的にも実現性があると考えられた。

一方、その設計法は確立されていない。とくに、コンクリート充填鋼管は終局耐力およびじん性に優れていることは認められているが、道路橋示方書に示される許容応力度設計法に基づく限り、その合理的・経済的な利点は発揮できない。コンクリート充填鋼管では、塑性モーメントの降伏モーメントに対する比、すなわち形状係数が大きく、降伏モーメントに基づく許容応力度設計法より、塑性モーメントまで考慮する限界状態設計法がより合理的であると考えられる。また、普通コンクリートとは異なる圧縮強度やヤング係数を有するコンクリート系材料を充填した鋼製断面の耐力やじん性を有するののかについて過去にはほとんど研究されていない。

今後は、コンクリート系材料を充填した鋼部材に関する基礎的な実験を実施し、その強度・変形性能を研究し、終局強度に基づく新形式の合成橋梁の設計法を確立したい。さらに、鉄道用鋼管橋梁については現地において変形性能・騒音振動特性などの測定および評価も行いたいと考えている。

最後に、本研究に協力していただいた保坂鐵矢氏（鉄建公団）、西海健二氏（新日本製鐵）、森園康之氏（長大）に謝意を表する。

参考文献

- 1) Nakamura: Design strategy to make steel bridges more economical, Journal of Constructional Steel Research, Vol.46, Nov.1-3, paper number 48, 1998.5.
- 2) 保坂, 中村, 西海: 鋼管桁の曲げ耐力およびR

C床版とのずれ止めに関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.1301-1312, 1997.3.

- 3) Hosaka, Nakamura, Nishiumi: Design and experiments on a new railway bridge system using concrete filled steel pipes, IABSE Symposium in Innsbruck, pp.367-372, 1997.9.
- 4) 保坂, 西海, 中村: 圧縮強度およびヤング係数の異なるコンクリート系材料を充填した鋼管の曲げ性能に関する実験的研究, 構造工学論文集, pp.1565-1573, Vol.44A, 1998.3.
- 5) 保坂, 西海, 中村: 鋼とコンクリートを組み合わせた鉄道橋用主桁の騒音・振動低減効果に関する実験的研究, 構造工学論文集, pp.889-897, Vol.44A, 1998.3.
- 6) 中村, 白井: コンクリート充填鋼管を用いた桁・脚・杭の一体化高架橋の地震応答解析, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998.11.
- 7) 中村, 白井: CFTを用いた上下部一体化高架橋の耐震性能に関するパラメトリックスタディー, 構造工学論文集, pp.889-897, Vol.45A, 1999.3.
- 8) 中村, 森谷, 森: 鋼製U断面を用いた部分PC連続合成桁の曲げ性能に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第5巻, 18号, pp.101-111, 1998.6.
- 9) 中村: 鋼製U断面を用いた部分PC連続合成桁の設計法に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, 第6巻, 1998.11.
- 10) 中村, 沖本, 富永, 竹田, 日紫喜: 鋼管を主桁とする長大合成斜張橋の構造特性, 鋼構造論文集, 第5巻, 17号, pp.1-11, 1998.3.
- 11) 松本, 八木, 石崎, 白土, 陳: 長大斜張橋エッジガーダー断面の耐風安定性に関する研究, 第15回風工学シンポジウム, 1998.
- 12) 西海, 沖本, 川端, 緒方: 鋼製エレメントを用いた合成構造中空断面橋脚における実験的研究, 鋼構造論文集, 第3巻, 第9号, 1996.
- 13) Nakamura, Nishiumi: Composite suspension bridge tower with concrete filled double steel walls, IABSE Symposium in Kobe, pp.187-188, 1998.9.