

新形式橋梁の性能評価事例 那智勝浦道路木ノ川高架橋工事

梅原 秀哲 *1・南 浩郎 *2

1. はじめに

性能設計体系では、性能達成を証明する方法として実験や解析などを用い、設計案が要求性能を満足することを直接的に証明することができる。これは、新材料、新構造、新工法などを提案する際に有利な環境であり、発注者に対して新しい技術提案を行う機会が増えることを意味している。また、これまでのように設計基準が示された照査方法に縛られないことから、設計技術力が問われる環境であると考えられる。

性能設計の利点は、構造物設計をこれまでのような仕様ではなく性能で規定することにより、設計の合理化ひいてはコストダウンを可能にする点にあり、この利益を発注者および請負者が享受するためには、性能を評価するための仕組の確立が必要である。

本報告では、一般国道42号那智勝浦道路木ノ川高架橋工事において、国内で実績のない新形式構造である「鋼管トラスウェブPC橋」を採用した際の性能評価事例について紹介する。

2. 木ノ川高架橋工事

2.1 プロジェクト概要

一般国道42号は、静岡県浜松市を起点とし、紀伊半島の沿岸部主要都市を連絡しながら和歌山県和歌山市に至る総延長約540kmの紀伊半島唯一の主要幹線道路である。近年、一般国道42号のうち新宮市および那智勝浦町の市街地における交通量の増加は著しく、那智勝浦道路はこれらの地域における交通混雑解消を主な目的として、平成4年度より事業が着手されている。

当工事は那智勝浦道路延長8.9kmのうち、ほぼ中央付近に位置する和歌山県新宮市内の木ノ川を渡河する高架橋を建設するものである。当工事では発注方式として、橋梁と



写真-1 木ノ川高架橋

しては国内で初めての設計・施工一括発注方式が適用され、上下部工事一体で発注された。今回の発注方式では、橋長、道路規格、有効幅員、活荷重などの基本性能のみを規定し、コンクリート橋であれば橋梁形式や径間数などを任意で設計できるなど、幅広い技術提案が可能とされた。入札の結果、国内で初めての試みとなる、ウェブに鋼管トラスを用いたPC橋「鋼管トラスウェブPC橋」が建設されることになった。

2.2 工事諸元

工事名：那智勝浦道路木ノ川高架橋工事

発注者：国土交通省近畿地方整備局

請負者：鹿島建設株式会社

工事場所：和歌山県新宮市木ノ川地先

工期：2001年3月28日～2003年6月30日

(設計・施工一括発注方式の対象となる橋梁本体は、
2003年3月末完成)

工事内容：

(上部工)

構造形式：4径間連続鋼管トラスウェブPC橋

橋長：268.0m

支間長：51.85m+2@85.0m+43.85m

幅員：11.15m(全幅)、10.5m(有効幅員)

平面線形：R=1200m(緩和曲線区間有り)

勾配：縦断1.7～2.6%、横断2.8～3.0%

(下部工)

橋台：逆T式橋台2基

橋脚：柱式RC橋脚3基

(基礎工)

橋台：A1橋台 深礎杭(φ3.0m×2本)

A2橋台 直接基礎

橋脚：大口径深礎(φ7.5m)



*1 Hidetaka UMEHARA

名古屋工業大学 教授



*2 Hiroo MINAMI

鹿島建設(株) 土木設計本部

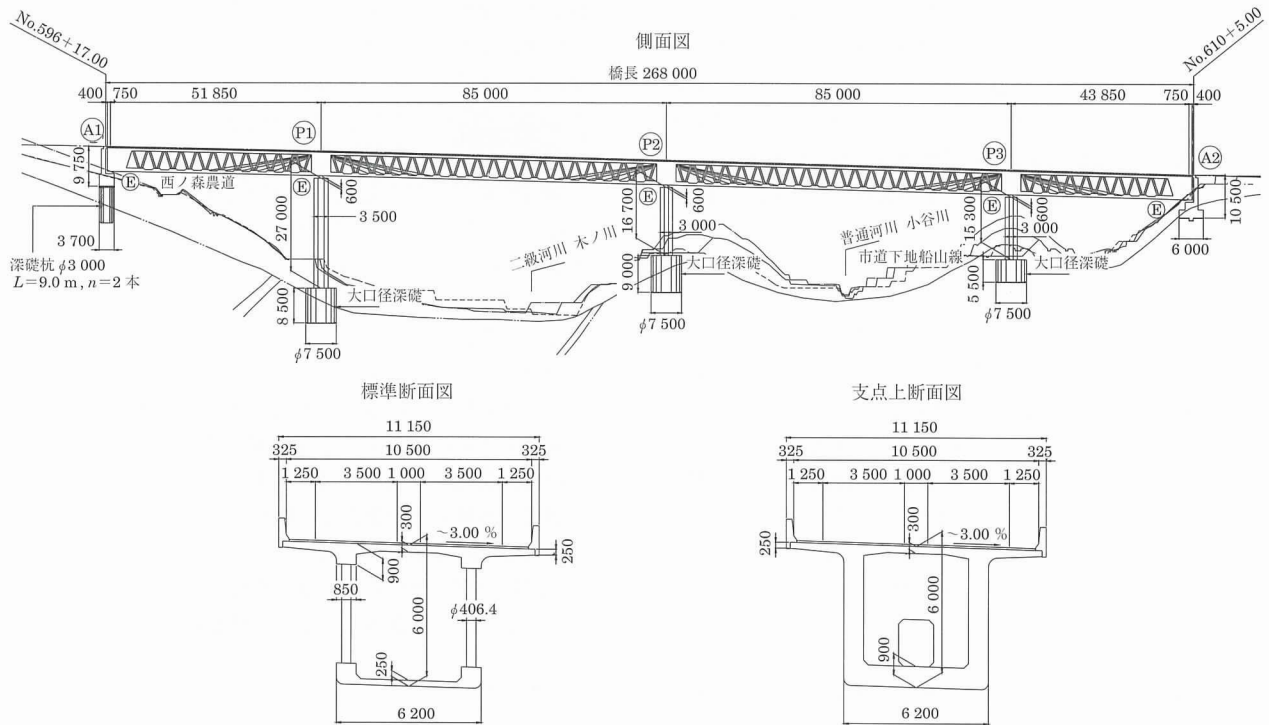


図 - 1 構造一般図

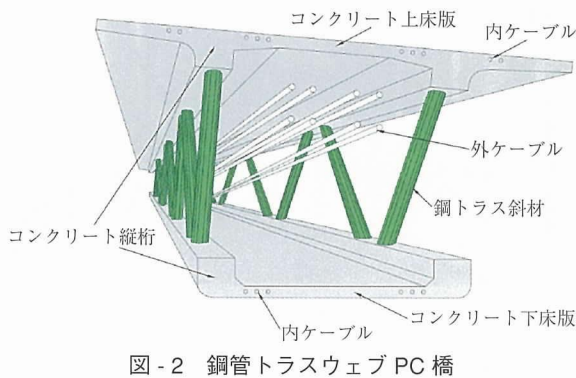


図 - 2 鋼管トラスウェブ PC 橋

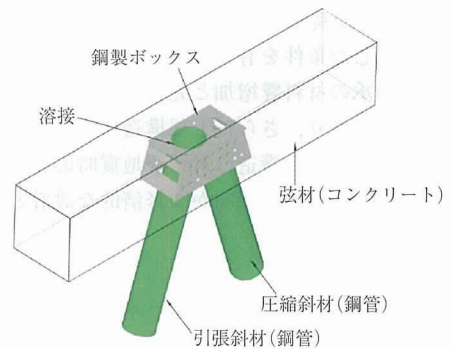


図 - 3 格点構造

2.3 鋼管トラスウェブ PC 橋

鋼管トラスウェブ PC 橋は PC 箱桁橋のウェブを鋼トラス斜材に置き換えた複合橋であり (図 - 2 参照), 従来の PC 箱桁橋に対して以下のような特徴がある。①主桁自重の軽減により, 上部構造だけでなく下部構造への負担の低減が図れる。②ウェブ部の型枠・鉄筋・PC 鋼材の組立, コンクリートの打設が不要となることで, 省力化・工期の短縮が図れる。③ウェブ部がトラス構造になるので透明感が増し, 周囲の景観に溶け込みやすくなるため, 景観性の向上につながる。

2.4 格点構造

鋼トラス斜材とコンクリート床版が交わる格点部は力を伝達する重要な部位であることから, 要求される性能を満足しつつ, 格点構造をいかにコンパクトで合理的な構造とするかが上部工重量や施工性およびコストに大きく影響する。

請負者は, 新しい格点構造として施工性に優れ製作も容

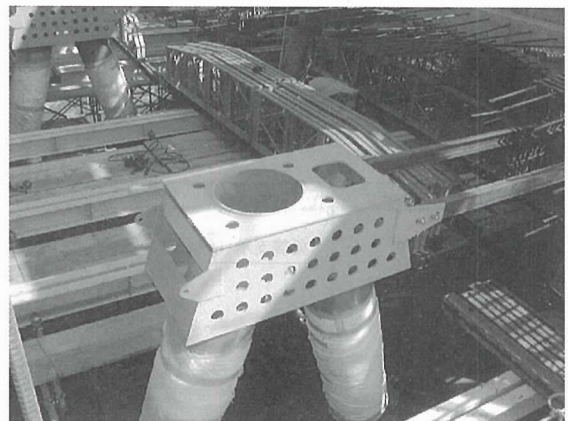


写真 - 2 鋼製ボックス

易な「鋼製ボックス」を用いた格点構造を提案した。格点構造の模式図を図 - 3 に, 鋼製ボックスを写真 - 2 に示す。本構造の特徴は, 引張斜材と圧縮斜材を鋼製ボックス内の

コンクリートを介して一体化している点にある。コンクリートを打設するまでは斜材同士が構造的に切り離されているため、施工時の調整が容易である。また、鋼製ボックスは孔あき鋼板から構成され、コンクリートの充填性が向上するとともに、孔あき鋼板がずれ止めとして機能し、鋼製ボックスと周りのコンクリートを一体化している。

3. 設計概要

3.1 設計方針

設計・施工一括発注方式のメリットを最大限に活かすため、請負者は以下の点を念頭において設計を実施し、要求性能を確保しつつ、建設コストの縮減を目指した。

- 1) 鋼管トラスウェブ PC 橋は国内初の構造形式であり設計手法が確立されていないため、検討項目に漏れないようにするとともに、想定した設計手法を一つ一つ立体 FEM 解析などを用いて検証する。
- 2) 上下部一体工事のメリットを活かし、橋梁全体として合理性を追求する。
- 3) 施工会社による設計であることのメリットを活かし、設計段階から施工サイドの意見を採り入れ、施工性に優れたディテイルを追求する。

3.2 設計の特徴

(1) 免震設計

架橋地点の地盤が良く（I種地盤）、橋脚高さも比較的低く、免震化に適した条件を有していたので免震設計が採用された。免震支承の材料費増加と免震化による下部工の工事費減は同程度となり、さらに上部構造の支持形式が連続桁形式となることで上部構造に対する地震時応答断面力が軽減され、橋梁全体として合理的かつ経済的な設計となっている。

(2) 主桁の桁高

主桁の桁高は 6 m の等桁高である。本橋では、ウェブが

鋼トラス斜材に置き換わっているため桁高の違いによる上部構造重量の増減はほとんどない。そこで交差道路の建築限界を侵さない範囲で桁高が最大化され、曲げ剛性、断面耐力の増加と使用 PC 鋼材量の低減を図っている。

(3) 鋼トラス斜材の軸力低減

本橋には鋼トラス斜材として一般構造用鋼管 STK490、 $\phi 406.4$ が使用された。この鋼管では、材料の入手し易さ・経済性・溶接作業性を考慮すると、鋼管板厚を 19 mm 程度以内に収めることが望ましく、以下の方法によりこれを実現している。

1) 外ケーブルの使用

主桁の張出し架設と平行して外ケーブルを斜張橋の斜材のように柱頭部から主桁に向けて放射状に配置し、主桁に死荷重と逆向きの力を作用させることで、トラス各部位に作用する断面力を低減している（写真-3 参照）。

2) 圧縮斜材内部へのコンクリートの充填

圧縮力が作用する斜材は、全体座屈・局部座屈の影響を受けるため、引張斜材に比べて鋼管の板厚が大きくなる。

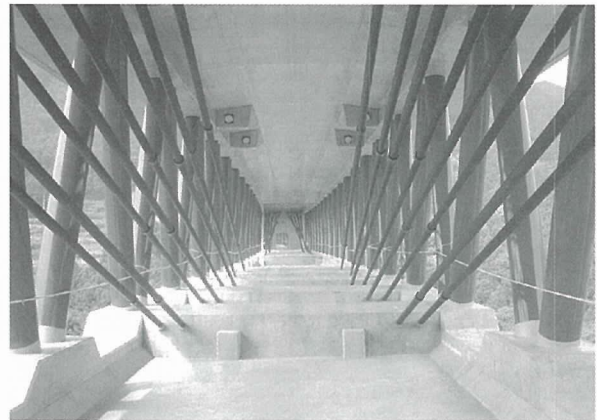


写真-3 外ケーブル

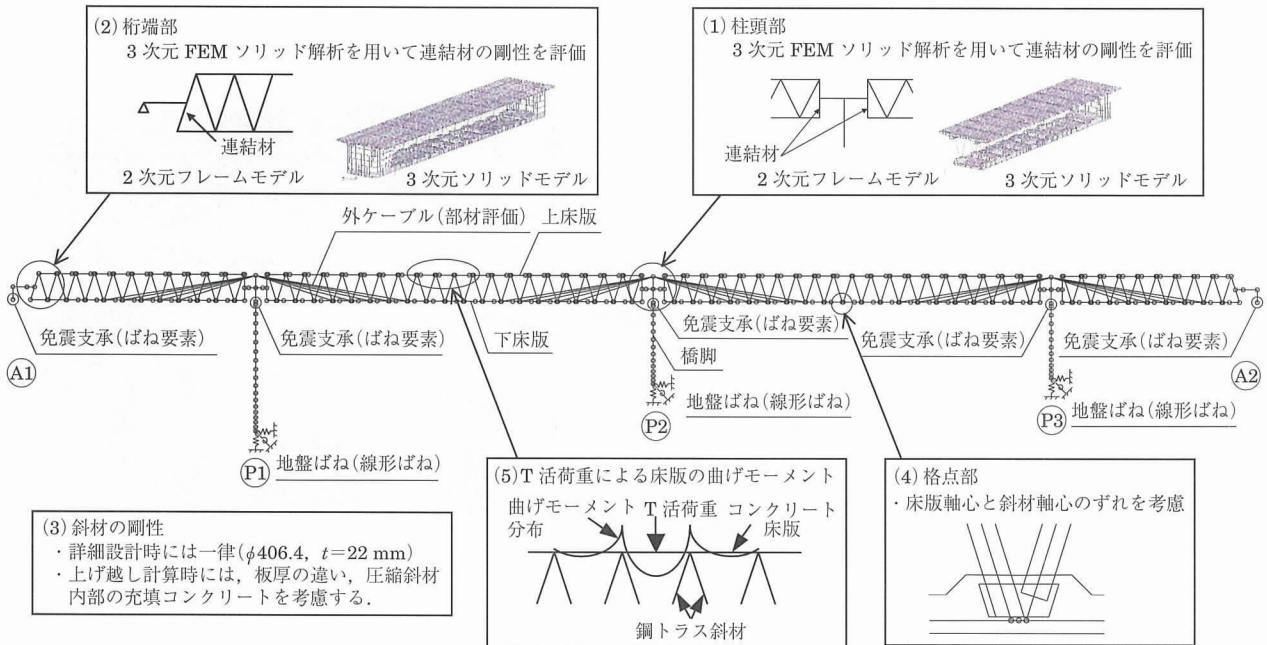


図-4 主桁設計用平面骨組モデル

そこで、圧縮斜材内部にコンクリートを充填し、コンクリート充填鋼管（CFT）とすることで座屈に対する強度を高め、引張斜材と同程度の板厚に低減している。

3) 桁高の増加

トラスの桁高（主構高）を高くすることでトラス各部材（弦材、斜材）に作用する断面力を低減している。

(4) 中間隔壁の省略

施工中および完成系での主桁のねじりに対する検討結果を踏まえ、通常のPC箱桁橋であれば最低1スパンに1箇所は設置される中間隔壁を省略している。

3.3 主要部位の設計概要

(1) 主桁の設計

主桁の設計断面力は、図-4に示す2次元フレームモデルで計算され、適宜立体FEM解析などを用いた検証を実施している。

(2) 床版の設計

鋼管トラスウェブPC橋の床版は通常のPC箱桁橋と異なり、床版が斜材によって断続的に支持される。そこで、床版の設計では図-5に示す3次元シェル要素を用いたFEM解析も併せて実施している。

(3) 斜材の設計

引張斜材は、「道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編」に従い、①軸方向力および曲げモーメントを受ける部材としての部材断面の照査と、②軸方向圧縮応力度とせん断応力度を同時に受ける場合のせん断力の照査が行われた。

圧縮斜材の内部には、主桁に打設するコンクリートと同

じコンクリートを充填し、コンクリート充填鋼管としている。内面リブ付鋼管等のコンクリートとの付着を高める鋼管ではなく、一般構造用鋼管を使用しているため、合成断面としてではなく鋼管断面と充填コンクリート断面の重ね合わせ（累加強度式）により設計を行っている。

(4) 格点部の設計

格点部はトラス構造を構成する重要構造部位の一つであり、その挙動は他の部材にも大きく影響するため、以下の3点に留意した設計が行われている。

- ① 格点部は、他の部材に先行して破壊させない。
- ② 格点部を構成する鋼板や鉄筋などの補強鋼材は、終局荷重作用時においても降伏点以下に留める。
- ③ 設計荷重時において格点部周辺コンクリートにひび割れを許さない。

また、格点部の設計項目を図-6に示す。

4. 性能評価

4.1 性能評価のための仕組

鋼管トラスウェブPC橋の施工例はフランスで数橋あるのみで国内には実績がないことから、性能評価のために以下の附帯条件が発注者である国土交通省より示された。これが、本工事における発注者から示された性能評価の仕組となった。

- 1) 設計段階での学識経験者を含む技術検討委員会の設置
- 2) 外部の建設コンサルタントによる設計照査
- 3) 床版と鋼トラス斜材の接合部の実物大模型実験による検証

また請負者は、鋼管トラスウェブPC橋の詳細設計業務の中で、種々の設計項目に対してある仮定に基づいた汎用的なモデル化を行いながら設計作業を実施し、別途そのモデル化の妥当性を検証するための詳細な検討として3次元FEM解析などを実施している。これらの検証結果は、技術検討委員会の場で報告され審議された。

4.2 技術検討委員会

技術検討委員会は、三木千壽東京工業大学教授を委員長

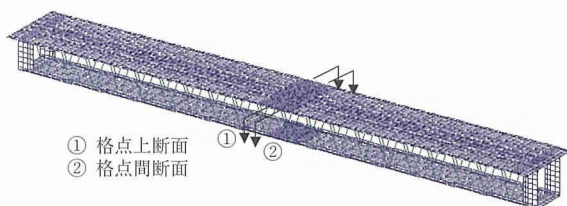


図-5 床版設計用3次元シェルモデル

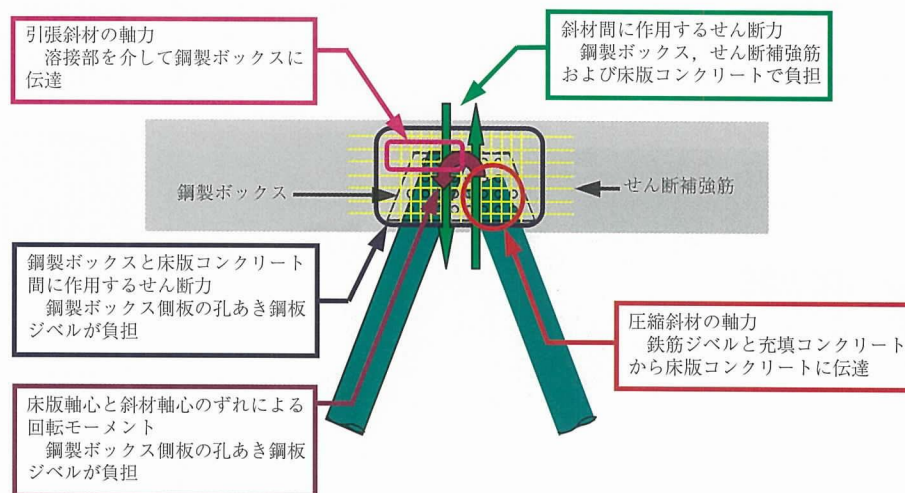


図-6 格点部の設計項目

として、大学および国土交通省国土技術政策総合研究所、日本道路公団、国土交通省近畿地方整備局の橋梁専門家が委員として参加した。設計期間中に開催した3回の委員会において、新形式橋梁の設計・施工全般にわたる技術的課題について審議された。

4.3 建設コンサルタントによる設計照査

技術検討委員会での審議の一方で、委員会で承認された建設コンサルタントが詳細設計を照査した。鋼管トラスウェブPC橋は国内初の構造形式なため、設計経験のある国内のコンサルタントがほとんどないことから、この種の新形式橋梁に関する実績があるコンサルタントを調査し、米国のパーソンズ社に依頼することになった。

照査は、詳細設計期間の後半に設計作業と平行して行われた。照査の内容は、トラス格点構造の設計と主方向および横方向の設計計算におけるモデル化についての仮定条件や解析方法などの概括的な確認とし、構造解析や設計作業は行われなかった。また、照査に必要な設計図書は、設計が終了した箇所から電子メールで送付され、日米の技術者同士のやりとりも電子メールあるいは電話で行われた。パーソンズ社の照査技術者は技術検討委員会にも参加し、委員会の審議とリンクした形で照査が行われた。

4.4 接合部の実物大模型実験による検証

請負者は、鋼管トラスウェブPC橋の設計・施工法の開発と平行して、独自の格点構造の開発を行っていた。そして、本橋が出件される時点までに、先述した鋼製ボックスを用いた格点構造を考案し、要素実験や縮小模型による性能試験および耐荷力確認試験を行って、実用レベルまでの開発を完了していた。

本橋は、請負者が独自に開発した格点構造を採用することを前提とした国内初の鋼管トラスウェブPC橋を技術提案したものである。この提案に対し、格点部の製作・施工性の確認、および耐荷性能、疲労特性などを検証することを目的とした、実物大模型試験による検証が入札時の附帯条件の一つとされた。詳細設計期間中に実施された実物大模型実験状況を写真-4に示す。実験項目は、設計と施工に必要なデータを得るという観点から決定され、実験結果は技術検討委員会で審議された。

この実験結果を踏まえ、提案した格点構造の耐荷力の確認と格点構造の設計法の検証を行っている。さらに、格点

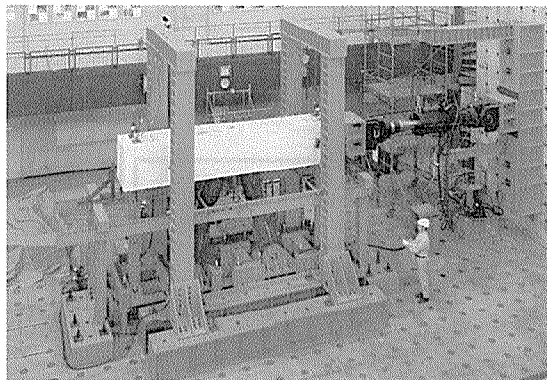


写真-4 実物大模型実験

部と鋼トラス斜材の設計に実験結果をフィードバックさせ、補強鉄筋の合理化や、斜材の据付およびコンクリート打設などの施工性の確認に有効に活用された。

5. 設計結果の事後確認

5.1 主桁たわみ形状管理

主桁施工時のたわみ形状管理の計画値は、詳細設計に使用した構造解析モデルを用いて算出されるため、この計画値と施工中の実測値を比較することが、設計計算の仮定および構造解析モデルの妥当性を確認する方法の一つとなる。

主桁たわみ形状管理の結果、主桁張出し施工中のたわみ量は計画値とほぼ一致し、その結果、主桁完成後の橋面高さは全橋にわたって規格値（±20 mm 以内）に収まった。

5.2 応力計測

設計計算に用いた構造解析モデルと、そのモデル化に際しての仮定の妥当性を確認することを目的として、以下に示す応力計測が実施された。計測の結果、設計に用いた解析モデルを用いて算出した各計算値と実測値は比較的よく一致することが確認された。

1) 施工時応力計測

施工時応力計測では、トラス部材の断面力の大きい柱頭部付近を対象に、各施工段階での弦材、斜材などの応力が計測された。

2) 完成系応力計測

完成系応力計測では、施工時応力計測の計測装置を用い、橋体完成後の橋面に45 ton および25 ton ラフタークレーンを載荷して橋体完成後の本橋の耐荷挙動が計測された。

5.3 振動実験

振動特性の確認および耐震設計の妥当性の確認を目的として以下の振動実験が実施された。振動実験の結果、振動実験時の条件を考慮した解析モデルによる固有値解析と実験結果を比較するとよい一致を示した。このことから、耐震設計のモデル化の妥当性が確認された。

1) 常時微動測定

常時微動測定は、主に工事や風の影響が少ない時間帯に実施された。常時微動測定波形から伝達関数やパワースペクトルを計算し、卓越振動数、振動モード形状が確認された。また、各モードの減衰定数が算出された。



写真-5 下流から見た木ノ川高架橋

2) ラフタークレーンによる衝撃加振自由振動実験

橋面上において45 ton ラフタークレーンを段差から落とすことで、橋梁を衝撃加振して、加振後の自由振動波形を測定し、その応答波形から固有振動数および減衰定数が確認された。

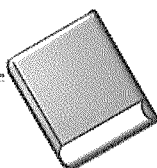
6. おわりに

本事例は、設計・施工一括発注方式の初めての試みに対し、鋼管トラスウェブPC橋という国内に実績のない橋梁が提案され、採用された画期的なプロジェクトであり、新しい構造形式を導入した設計の性能を評価する実績の一つ

として参考になるところが多いと思われる。

今後、同様の発注方式が普及・定着し、新材料、新構造、新工法などの新しい技術の提案・採用の場が開かれることで、より良質な構造物が経済的に提供されるようになることが期待される。そのためには、今後より一層、構造物の要求性能を明確にし、それを確認するためのシステムを確立し、またリスクの分担方法などを整理し、利用者はもちろんのこと、発注者および請負者の両者にとって魅力ある仕組となる必要がある。

【2003年8月28日受付】



● 関連書籍のご案内

● PC建築 —計画から監理まで—

平成14年11月発行

社団法人日本建築構造技術者協会編／技報堂出版刊

B5判・178頁・本体価格4,800円(税別)

技報堂出版

〒102-0075 東京都千代田区三番町8-7 第25興和ビル

TEL03(5215)3165 FAX 03(5215)3233