

## 京都南道路木津川橋における合成化の検討

玉田 和也<sup>1)</sup> 真嶋 敬太<sup>2)</sup> 長谷川 敏之<sup>3)</sup>

国土交通省京都国道工事事務所より発注の木津川橋は、京都府を流れる一級河川木津川に架かる橋梁であり、発注時は6径間連続非合成箱桁(上下線一体)の橋梁形式であった。これに対し“合成化の検討”を行った結果、上下線分離の“6径間連続合成開断面箱桁”形式に変更し、さらに主桁本数についても、標準部の4本から拡幅部で5本となっていた形式を全橋にわたって上下線各2本の4主桁に変更した。また、床版は長支間への対応、耐久性の向上を目指した“鋼・コンクリート合成床版”を採用した。

本文では発注時の橋梁形式から連続合成桁形式へ変更となるにいたった“合成化の検討”について報告するものである。

キーワード：連続合成桁、開断面箱桁、鋼・コンクリート合成床版、ライフサイクルコスト

### まえがき

京都府南部地域の交通渋滞は慢性化し、この解消が同地域の最大の課題となっている。第二京阪道路は、京都府久御山町から大阪府門真市を結ぶ延長約27.4 kmの道路である(図-1)。この道路は、自動車専用道路とこれに併設する一般国道(洛南道路、京都南道路)とで計画されており、『緑立つ道』と銘打って国道1号線をはじめとする幹線道路の交通混雑の解消、沿道地域の環境改善、地域整備の促進、交通サービスの向上を図ることを目的としている。

現在、京都府域および京都府界から枚方市杉地区の国道307号線までの区間が、平成15年春の供用開始に向けて工事が進められており、木津川橋もこの一環を担っている。

木津川橋は、桂川、宇治川、木津川が合流して淀川となる地点から約5 km上流に位置し、さらに上流側には時代劇の撮影にも使用される流れ橋(上津屋橋)がある。

本橋は6径間連続非合成箱桁(上下線一体)と

して発注されたが、より合理的で耐久性に優れた橋梁の建設を目的として、合成化(連続合成桁)の検討を行った。本文では合成化の検討内容と検討結果について述べる。



図-1 橋梁位置図

1) 橋梁設計部大阪設計一課係長 2) 橋梁設計部大阪設計一課 3) 橋梁設計部次長

## 1. 工事概要

発注時の設計条件を以下に示す。また、構造一般図を図-2に示す。

道路規格：第一種 第3級 A規格

形式：鋼6径間連続非合成箱桁

活荷重：B活荷重

橋長：435.500m

支間長：54.650+80.500+81.000+81.000+  
80.500+55.150m

有効幅員：49.000m～28.250m

斜角：A1:65.5°, P1～P5:78.0°, A2:60.0°

鋼材：耐候性鋼材

本工事は右岸工事（A1～P3）を日本鋼管・瀧上工業共同企業体，左岸工事（P3～A2）を駒井鉄工・新日本製鐵共同企業体で受注した。連続合成桁としての詳細設計に際しては4社合同の設計部会を設けて作業にあたった。

なお，下部工は本橋の両外側に将来架設される一般道橋梁の分も含めて一体で設計，施工済みである。

## 2. 本橋の特徴

本橋の特徴として以下の点が挙げられる。

- ①A1側にインターチェンジが取り付くために，幅員が標準部の28mから拡幅部においては約2倍の49mまで広がる。

②60.0°～65.5°の斜角を有する。

③路面の拡幅に伴い，P3付近から主桁本数が増える。

④最大支間長81mはコンクリート床版を有する箱桁橋の適用範囲として最大級である。

⑤耐候性鋼材を使用する。

## 3. 合成化の検討

床版と鋼桁が非合成であると設計しても実質的には合成桁として挙動していることは，既設橋の計測結果などにより，以前より知られているところである。単純桁の場合は非合成で設計することは床版と鋼桁の双方にとって安全側の設計であると考えられるが，連続桁の場合は必ずしも安全側の設計とは限らない。そのため，本橋においては実際の挙動を反映した，より合理的な橋梁（連続合成桁）の設計を行い，さらに耐久性を確保しつつ全体工費が安価となる橋梁の建設を目指すべく合成化の検討を行った。

### (1) 検討の前提条件

検討を進める上での前提条件を下記に示す。

- ①下部工は施工済みであるため，支間，幅員，斜角などの平面線形は変更しない。
- ②上部工死荷重の大幅な増大は不可とする。
- ③工期は当初予定通りの供用開始を原則とする。
- ④再設計費，製作費，架設費を含めた全体工費を対象に，ライフサイクルコスト（LCC）も考慮した経済比較を行うこととする。

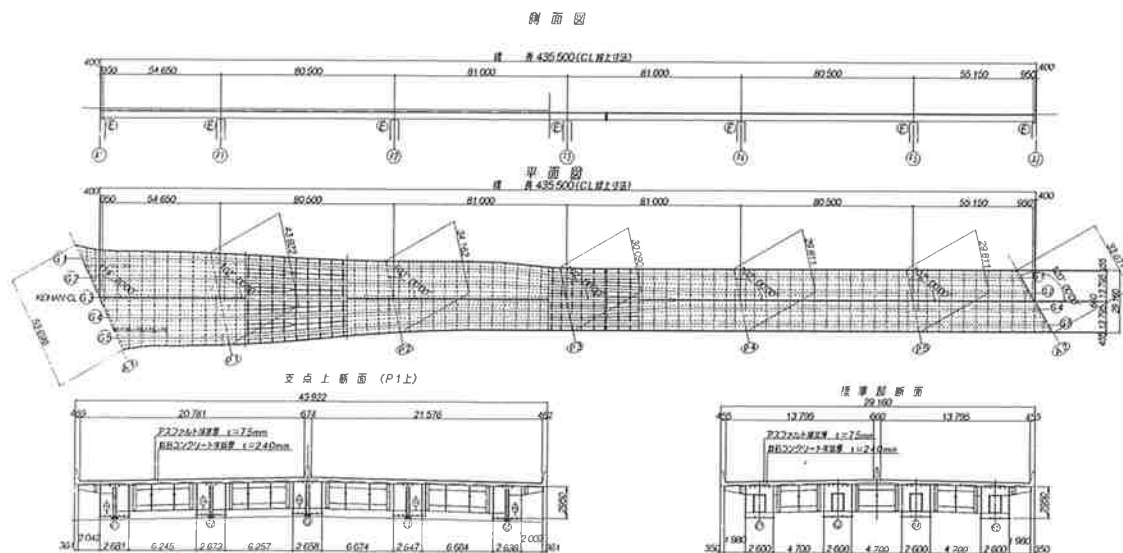


図-2 発注時構造一般図

## (2) 床版の選定

合成桁では床版は主要部材であり、LCCも考慮した高い耐久性が求められる。連続合成桁の床版としてはRC床版、PC床版、合成床版が考えられる。

RC床版については床版支間の増大とともに床版厚が増し、死荷重が大幅に増加するため適用外とした。

PC床版は耐久性についてはクリアしているものの、プレキャストの場合は輸送ブロックおよび斜角部の処理に、現場打ちの場合は広幅員および幅員変化などによる施工の困難性が考えられる。また、死荷重も10%の増加が見込まれるため、PC床版の採用は見送った。

上述の要因から、PC床版と同等の耐久性を有し、RC床版よりも床版厚が薄くなる合成床版の採用を決定した。この場合、鋼製パネルを桁架設と並行して行えるため、工程的にも有利となる。死荷重の増加は3%程度であると見込まれるが、下部工にとって問題のない値であることを確認している。

## (3) 比較案

合成化の検討にあたり、表-1に示す比較表を作成した。実際の検討においてはこの表に示す以外に、道路線形を直線に変更した幅員14mの1箱桁の開断面形式などを提案したが、ここでは最終的に採用されることとなった第4案を含む4つの案を示す。

### 【第1案】

これは発注時の構造をそのまま利用し、照査として床版と鋼桁の合成を評価しようとする案である。最近の橋梁で適用されている例がいくつか見られる。

形式としては“合成挙動を考慮した連続非合成箱桁”となり、床版のずれ止めには従来どおりスラブアンカーを用いている。合成挙動を考慮する項目としては、腹板の少補剛や中間支点部床版のひび割れ制御などが考えられる。

第1案は形式としては非合成桁としているため、床版は場所打ちRC床版を適用している。

### 【第2案】

この案では形式を“連続合成桁”とすることで第1案との差別化を図っている。道路線形や主桁配置等の基本構造はそのままとし、床版のずれ止

めをスタッドジベルとすることで連続合成桁として設計するという案である。

この第2案以降はすべて合成桁として設計を行うことが前提になっているが、それらすべての案に共通して幅員変化、斜角部分の設計とその妥当性の確認が大きな課題となる。

本案は合成桁として設計を行うが、主桁形状等は一切変更しないため、材片数や架設ブロックに変化はなく、合成化によるメリットは鋼材費の減少のみである。そのため、設計費を回収することも困難となる。

なお、これ以降の案は連続合成桁となるため、鋼・コンクリート合成床版の使用を前提条件としている。

### 【第3案】

第2案と同様に基本的条件の変更はないものの、上フランジを分離したいわゆる開断面箱桁形式とする案である。開断面とすることによる上フランジ鋼重減の促進と、縦リブがなくなることによる材片数の減少により、当初の製作費より約9%の工費縮減が見込まれる。

### 【第4案】

結論から言えば、この第4案が最終的に採用された案である。本案とこれまでの案との違いとしては、

- ・路面線形を上下線分離とする
  - ・主桁は上下線各2本の少数主桁形式とする
  - ・幅員の拡幅については主桁幅を変化させることで対応する
  - ・下フランジ幅を縮小した開断面箱桁（傾斜腹板）を採用する
  - ・分配横桁、縦桁などの床組を省略する
- などが挙げられる。

これまでの案では発注形式を踏襲した形式を提案していたのに対し、本案では徹底した省力化、合理化を目指し、合成桁としてのメリットを最大限に引き出す橋梁形式を提案した。

## 4. 最終案

表-1の比較表より【第4案】を採用するにあたり、以下に示す項目についての概略検討を行い、詳細設計を進める上での目処を立てた。

表-1 合成化の検討比較表(1/2)

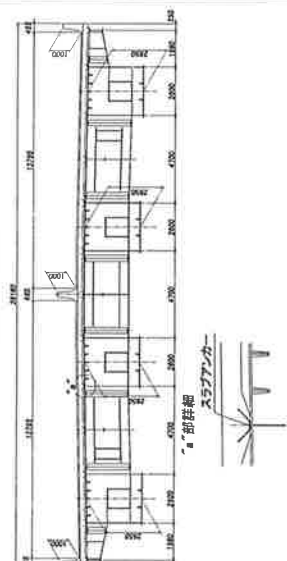
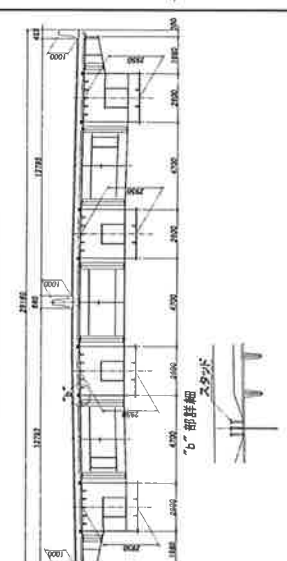
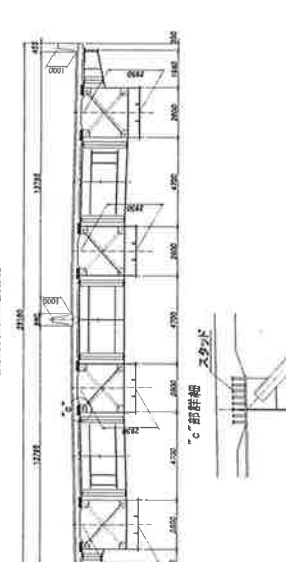
形式	第1案(合成挙動を考慮した連続閉断面箱桁) 合成挙動を考慮	第2案(連続合成閉断面箱桁) スタッドにより連続合成化	第3案(連続合成閉断面箱桁) 閉断面の採用
断面図			
前提条件	現設計通りの連続非合成閉断面箱桁に合成挙動を考慮する。 (橋面積 14,500m <sup>2</sup> )	現設計通りの箱形で幅員変化と斜角を有する連続合成閉断面箱桁とする。 (橋面積 14,500m <sup>2</sup> )	現設計通りの箱形で幅員変化と斜角を有する連続合成閉断面箱桁とする。 (橋面積 14,500m <sup>2</sup> )
設計上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>詳細設計を実施済み。</li> <li>下記の項目について検討が必要。 <ul style="list-style-type: none"> <li>腹板の少補剛設計</li> <li>床版の照査</li> <li>スレ止め</li> <li>中間支点部床版のひび割れ制御</li> <li>キャンパー</li> </ul> </li> <li>先行工事および論文等の活用により技術的難易度は比較的低い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>幅員変化と斜角を有する合成桁の設計方法が確立されていない。</li> <li>斜角部と主桁本数変化部の床版有効幅の検討、実証実験等が必要。</li> <li>技術的に確立されておらず難易度は高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>幅員変化と斜角を有する合成桁の設計方法が確立されていない。</li> <li>斜角部と主桁本数変化部の床版有効幅の検討、実証実験等が必要。</li> <li>技術的に確立されておらず難易度は非常に高い。</li> </ul>
鋼桁製作工費	0.352ton/m <sup>2</sup> △	0.340ton/m <sup>2</sup> ○	0.320ton/m <sup>2</sup> ◎
床版工費	場所打ちRC床版 ◎	鋼板・コンクリート合成床版 △	鋼板・コンクリート合成床版 △
床版の耐久性	場所打ちRC床版 ○	鋼板・コンクリート合成床版 ◎	鋼板・コンクリート合成床版 ◎
橋梁全体工費	△	×	×
工期	2003年3月(H15.3) 供用開始 ◎	2003年10月(H15.10) 供用開始 ×	2003年12月(H15.12) 供用開始 ×
結論	<p>表の見方 ◎ 優 ○ 良 △ 可 × 不可</p> <p>① 平成14年度末の供用開始を満足できる橋梁形式は、第1案の“合成挙動を考慮した連続箱桁”のみである。  ② 本橋のように幅員が変化し、大きな斜角を有する大規模橋梁に連続合成桁を採用した実績はなく、数多くの検討が必要となり、多大な時間が必要となる。  ③ 第2案は技術的問題があるものの、検討期間を含め時間的な制約が無ければ採用可能な案である。ただし、全体工費及び工期を満足できないため、本橋においては採用を見送るものとする。床版については、鋼桁と同等の寿命を有する鋼板・コンクリート合成床版の採用を前提とした。  ④ 第3案は閉断面とすることにより第2案に比べ、設計・製作・架設の全てについてより多くの検討が必要となり、時間的制約および全体工費を考えると本橋における採用は難しい。床版については、鋼桁と同等の寿命を有する鋼板・コンクリート合成床版の採用を前提とした。</p>		

表-2 合成化の検討比較表 (2/2)

形式	第4案 (連続合成閉断面箱桁：上下線分離2主桁橋)	
断面図		
前提条件	現設計通りの踏面線形で上下線を分離し、2主桁橋とした連続合成閉断面箱桁とする。 (橋面積 14,500m <sup>2</sup> )	
設計上の問題点	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 幅員変化と斜角を有する合成桁の設計方法が確立されていない。→立体FEMによる検討が必要。</li> <li>• 少数主桁形式の開断面箱桁として設計することによる種々の検討が必要。→揚台によってはFEM解析が必要となる。</li> <li>• 技術的に確立されておらず難易度は非常に高い。</li> </ul>	
鋼桁製作工費	0.320ton/m <sup>2</sup> ◎	
床版工費	鋼板・コンクリート合成床版 △	
床版の耐久性	鋼板・コンクリート合成床版 ◎	
橋梁全体工費	ただし、床版工費の増加分についてはLCC (ライフサイクルコスト) を考慮し、その分は将来への投資と考える。そのため、床版工費を除く全体工費は第1案と比較して減となる。	
工期	2003年 3月 (H15.3) 供用開始	
結論	表の見方 ◎ 優 ○ 良 △ 可 × 不可 ① 上下線分離構造として少数主桁橋とすることにより、鋼桁の製作コストの削減が図れる。 ② 斜角部の床版、開断面箱桁の検討において立体FEM解析が必要となり、検討に要するコストと工期が増大する。 ③ 少数主桁橋のため部材数が削減し、架設工期の短縮が可能になった。 ④ 高耐久性床版を使用することによる工費の増加については、LCC (ライフサイクルコスト) を考慮した将来への投資と考えることにより初期コストの比較から除くことが可能である。その場合、全体工費は再設計費を含めても工費削減となる。	

(1) 上下線分離

第4案では当初の上下線一体構造から上下線を分離する形式へと変更している。

通常、合成桁の設計で乾燥収縮は橋軸方向の不静定力として考慮されるが、本橋のように最大50m程度の幅員ともなれば橋軸直角方向についても考慮する必要性が考えられる。また、床版打設の施工性にも影響を及ぼすおそれがある。床版の施工にあたりこのような不確定要素を一つでも少なくするために、上下線を分離することとした。

(2) 開断面箱桁形式の採用

開断面箱桁形式は近年、鋼橋の合理化を目的として採用されている形式である。これは合成桁（または合成挙動を考慮する非合成桁）として設計する場合に、床版を主要部材として扱うことで鋼桁の上フランジ断面を小さくするようにしたものである。一般的には腹板を傾斜させて下フランジ断面も縮小した逆台形断面が主流である。

本橋では、比較表の第3案においても開断面箱桁形式を採用しているが、前述のごとく従来の箱桁形式にそのまま開断面形式を適用してもその効果は少ないといえる。そこで第4案ではもう一歩踏み込み、逆台形断面を採用した。ただし、桁配置や輸送の関係で片側のみ傾斜させる構造とした。

(3) 連続合成桁

連続合成桁には“プレストレスする”連続合成桁と、“プレストレスしない”連続合成桁とがあるが、最近設計されているのは一般的に本橋も含めて後者である。

過去、鋼重を減少させるために合成桁の施工が多く行われたが、それらの多くは単純桁であった。連続合成桁は、橋軸方向にプレストレスする形式の施工が過去に実績としてあるが、プレストレス導入の方法や、中間点上における負曲げモーメントへの対応、クリープ・乾燥収縮の影響など、設計・施工に高度な技術管理が必要とされる。

本橋では基本的に道路橋示方書に従って設計を行っているが、近年の施工例、研究成果等も参考とした。具体的にはプレストレスしない合成桁として中間支点上のひび割れ制御を行い、斜角部の床版の挙動についてはFEM解析にて安全性の確認を行った。

(4) ライフサイクルコスト

橋梁の価格の考え方について、これまで初期建設費のみで判断されてきたが、100年先までを見つめたライフサイクルコストによって評価する必要が生じてきた。鋼橋の寿命は使用材料の高品質化、設計・施工技術の向上とともに、現在では供用期間100年が目標となっている。鋼桁については疲労設計により100年間の供用期間を保証できるが、床版、支承、防錆、防水等については維持補修が必要不可欠である。

本橋ではこのライフサイクルコストを安価とするために以下のような対策を考えた。

- ・疲労照査の適用 ⇒ 鋼部材の疲労損傷を防止
- ・耐候性鋼材の使用 ⇒ 塗装の塗替えが不要
- ・合成床版の採用 ⇒ 床版打替えが不要（床版工に関するLCC比較のグラフを図-3に示す。文献 7)により算出)

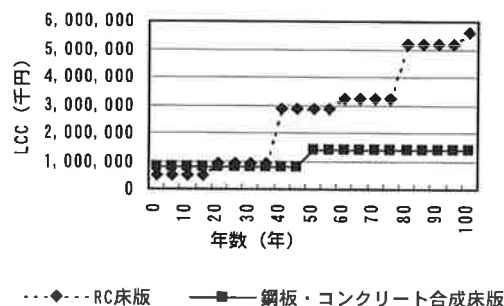


図-3 床版工のLCC比較

(5) 合成床版

床版の選定で述べたとおり、本橋では高耐久性床版として合成床版を採用している。合成床版として本橋の検討を始める段階で11種類の製品があった。具体的な合成床版の選定では本橋の特徴に適合した床版を選定する必要がある。

合成床版を使用する利点として、床版支間の長大化がある。本橋ではこの利点を最大限に活かし、主桁配置の検討を行った。具体的には標準部 (P3~A2) と拡幅部 (A1~P1) において基本となる配置を決定し、主桁間の床版支間と張出し長がほぼ一定となるようにすりつけ部分の主桁幅を変化させた。このように、高耐久性床版を有する橋梁では床版主体の主桁配置が必要となってくる。

図-4に変更後の構造一般図を示すが、発注時の平面図とはかなり違った印象を与える形式となっている。

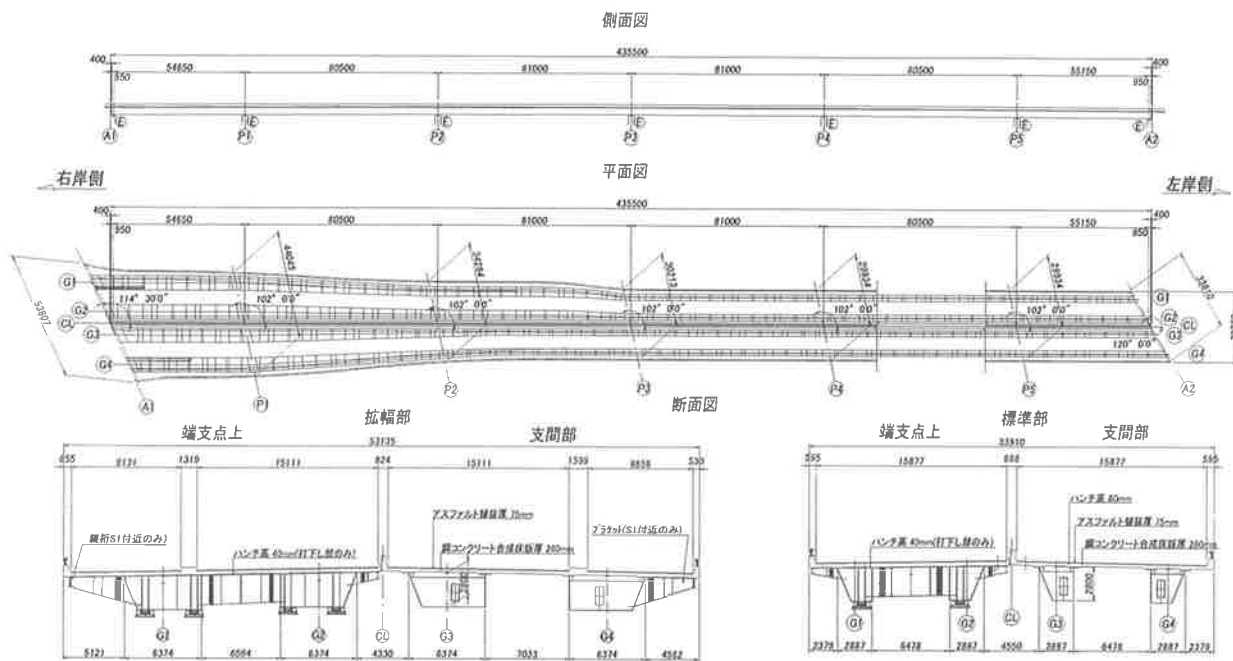


図-4 合成化の検討後構造一般図

なお、合成床版は確かに長支間に対応可能であるが、張出し部（＝負曲げモーメント）においてはRC床版と同様の抵抗断面となる。そのため、張出し長の限界は正曲げ部分の床版厚とハンチ高の合計に左右される

(6) 床組の省略

構造一般図を見てわかるように、合成床版の採用により、縦桁、中間横桁は一切配置していない。縦桁については、不要となるように合成床版主体の主桁配置を行っている。また、中間横桁は荷重の分配作用を主な目的として配置されていたが、今回合成床版を使用することでその役割を床版に預けてしまうことが可能となったため、完全に省略している。ただし、支点上には全箇所横桁を設けている。

なお、中間横桁を省略するにあたっては、立体FEM解析等により床版の安全性を十分確認する必要がある。また、主桁の設計は床版による荷重分配効果を考慮せずに安全側の設計を行うなどの配慮も考えられる。

おわりに

発注時の橋梁形式に対し、合成化の検討を行った結果、上下線分離の6径間連続合成開断面箱桁

形式を最終案として提案した。

橋梁のコスト縮減が叫ばれる中、合成化にともなう高耐久性床版の特性を活かし、当初の構造に比べると大胆な橋梁形式になった。ただし、今回の提案は木津川橋梁独自の前提条件のもとでの成果であり、必ずしも一般的な提案ではないことを明記しておく。

検討結果が出た段階で受注4社による設計部会を開設し、即座に詳細設計を開始した。詳細設計では合成床版の選定に始まり、連続合成桁としての断面設計から、立体FEMモデルによる全体解析に至るまでの設計、解析、検討を行った。これらの詳細については次回の報告時に述べたく考えている。

本橋の詳細設計において注意を要した点の一つとして、架設時の安定性が挙げられる。合成桁は床版と合成したときに初めて本来の断面性能となるため、架設時の鋼桁のみの構造系では不安定となる。特に開断面箱桁形式の場合、横倒れ座屈に抵抗する上フランジが小さいため要注意である。さらに、標準部の断面では腹板間隔が狭く、面内より面外曲げ剛性が小さくなるため、十分な注意が必要である。対策として本橋では、底鋼板(合成床版の下側鋼板)を考慮しない鋼桁断面において床版打設までの荷重に対して立体FEMモデルによる座屈解析を行い、部分的に架設用の上横構を設

置することで安全性を確保した。

本工事は詳細設計を2001年7月に終了し、現在は2003年4月の供用開始に向けて鋭意、現場施工が進められている。

最後に、合成化の検討にあたりご指導いただいた国土交通省近畿地方整備局道路工事課、京都国道工事事務所および伏見国道出張所の皆様をはじめ、関係各位に感謝の意を表します。さらに、貴重なご意見を賜った土木研究所橋梁研究室 西川前室長にこの場を借りて御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅰ 共通編，Ⅱ 鋼橋編，Ⅲ コンクリート橋編），1996.12.
- 2) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，1997.9.
- 3) 日本橋梁建設協会：PC床版を有するプレストレスしない連続合成桁設計要領【案】，1996.3.
- 4) 福岡北九州道路公社：福岡高速5号線 開断面箱桁橋の設計・施工の手引き（案）【暫定版】，2000.4.
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，1996.3.
- 6) 建設省土木研究所：土木研究所資料第3506号 ミニマムメンテナンス橋に関する検討，1997.6.
- 7) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案，橋梁と基礎，Vol.31, No.8, pp.1-9, 1997.8.
- 8) 日本橋梁建設協会：新しい鋼橋の誕生 — 公共工事のコスト縮減をめざして — 床版編，床版資料編，1999.4.