

## Uリブ合成床版の広幅員開断面合成箱桁橋への適用

### ——木津川橋——

#### Adoption of U-rib Composite deck to Kizugawa-bridge

川畑篤敬\*、高尾道明\*、猪村康弘\*、滝口伸明\*\*、葛西 敏\*\*\*

Atsunori KAWABATA, Michiaki TAKAO, Yasuhiro IMURA, Nobuaki TAKIGUCHI, Satoshi KASAI

\*工修 JFE 日本鋼管株式会社 橋梁建設部 開発技術室 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-1)

\*\* JFE 日本鋼管株式会社 橋梁建設部 開発技術室 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-1)

\*\*\* 日本鋼管工事株式会社 橋梁・構造計画部 開発技術室 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町 2-1)

In these days, it is required to decrease the costs of public works in Japan. One of the key-factor of bridge cost reduction is to develop new reliable deck, which has enough strength, durability and economy. We developed a new composite slab, which consists of U-rib stiffened steel plate and reinforced concrete. U-rib works as a stiffener of bottom plate before concrete casting.

We adapted the U-rib composite deck to Kizugawa-bridge, which is a 6-span-continuous box girder. In order to adopt the U-rib composite deck on Kizugawa-bridge, we solved several problems of design and construction. In this paper, we describe the summary of the design, studies and construction. Through the works of Kizugawa-bridge, we assured that the U-rib composite slab is suitable for decks of steel bridges, because it has enough strength, durability, fabrication accuracy and construction simplicity.

Key words: U- rib, Bridge deck, Composite Deck, Composite Box Girder

### 1. はじめに

近年、公共事業費の縮減を目指して、橋梁に関する各種工法の開発が盛んとなっている。日本道路公団で多く採用されている鋼少数主桁橋では、プレストレストコンクリート床版（以下 PC 床版という）の採用により、床版自身の高い耐久性を確保するとともに、床版の支間長を大きくとることで鋼桁の数を削減し、経済性を確保している<sup>1)</sup>。しかしながら、プレキャストの PC 床版は、1枚あたりの重量が大きくなり架設機材の大型化が必要となるため施工箇所に制約が生じる。また、場所打ちの PC 床版では、型枠支保工の施工工期が長くなり、周辺環境への負荷が長期間に及ぶことになる。Uリブ合成床版は、開口部を設けたUリブを用いて底鋼板を補剛し、コンクリート打設時の型枠支保工としての機能を持たせ、コンクリートの硬化後は底鋼板とコンクリートが合成されて荷重に抵抗する床版である。Uリブ合成床版は、橋梁工場のパネルラインでの製造を前提としており鋼桁と同等の品質を確保して製造される。Uリブ合成床版を実際の橋梁に適用する場合、強度や疲労耐久性の確保に加えて、拡幅や斜角などの平面線形への対応、縦断勾配や横断勾配への対応、コンクリート打設の作業性など、施工性の確保が重要である。本稿では、木津川橋へのUリブ合成床版の適用に際して、検討した設計・施工上の課題とその解決策について示し、今後のUリブ合成床版の施工についての指針を与える。

### 2. 木津川橋の概要

木津川橋は京都と大阪を結ぶ第二京阪道路の木津川に架かる自動車専用道路橋である。完成年は平成 14 年 12 月である。

本橋は 60 度の斜角を持つ大規模な橋梁である。主桁は開断面箱桁で、桁幅は幅員に応じて 2.5~5.8m に変化している。プレストレスしない連続合成桁として中間支点上の床版はひび割れ制御を行なった。

床版には耐久性の高い鋼・コンクリート合成床版のなかから、「Uリブ合成床版」を採用した。

橋梁一般図および諸元を図-1、表-1に示す。

表-1 木津川橋梁諸元<sup>2)</sup>

構造形式	鋼6径間連続活荷重合成開断面箱桁橋
床版形式	鋼・コンクリート合成床版
橋長	435.5m
支間割	54.65+80.5+81+81+80.5+55.15m
有効幅員	下り線：23.259~13.75m
	上り線：23.264~13.75m
斜角	最小60°

本橋の設計で実施した主たる検討項目は以下のとおりである。

- ① 60度の斜角を有する合成桁橋の挙動の把握
- ② 分配横桁の省略と床版活荷重モーメントの検討
- ③ スタッダの引き抜き力の検討
- ④ 架設時の安全性の照査

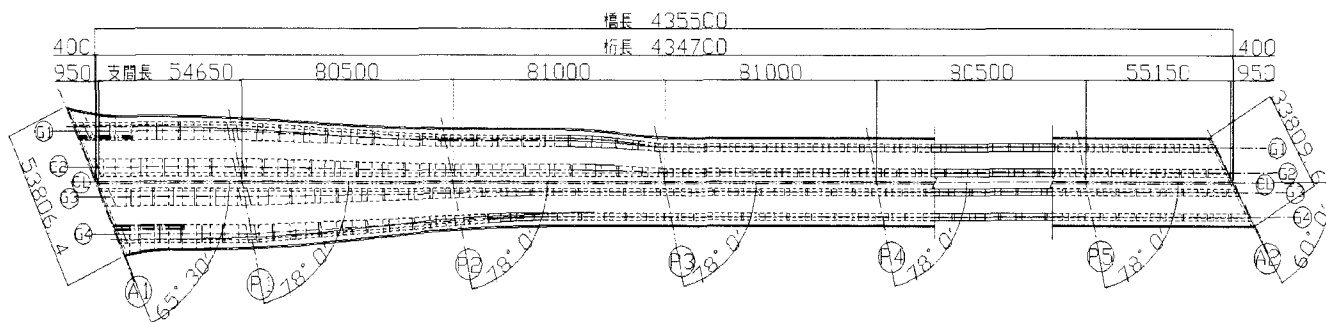


図-1 木津川橋 構造一般図 (平面図)

### 3. Uリブ合成床版の設計

Uリブ合成床版は鋼・コンクリート合成床版であり、型枠・支保工が不要の床版である。自重およびコンクリート打設時の前死荷重については鋼部材、コンクリート硬化後の後死荷重および活荷重については合成断面にて抵抗するとして設計するものである。

#### (1) 設計条件

設計条件および諸元一覧を表-2に示す。主桁については連続合成桁にて設計しており、中間支点上負曲げ部では、配力筋断面を主桁断面に算入している。

表-2 床版設計条件および諸元一覧

	諸元
活荷重	B活荷重
最大床版支間長	6.4m
最大張出長	2.3m
斜角	A1 : 65.5° A2 : 60.0°
横断勾配	片勾配 2%
縦断勾配	0.328%~-0.500%
床版厚	260mm (底鋼板 6mm 含む)
ハンチ高	80mm
かぶり	純かぶり 40mm
床版面積	14,501m <sup>2</sup>
防食仕様	耐候性鋼材 + 鍍安定化処理 (桁内 D4 塗装系)
コンクリート設計基準強度	30N/mm <sup>2</sup>
コンクリートの種類	普通コンクリート 膨張材使用

#### a. 床版支間

本橋の線形は、全橋のうち約 60%が標準幅員の直線橋であるが、A1 側には料金所が計画されており、ラン

ブ幅を有する複雑なものであった。

上下線を分離し、各々開断面箱桁の 2 主桁橋として連続させるため、拡幅部では箱桁幅を拡幅して対応している。合成床版を採用することを前提に桁配置を決定しており、床版支間の最大は 6.4m とした。図-2 に代表的な断面図を示す。なお、張出については、2.3m を超える範囲について縦桁を配置した。

#### b. 床版厚

床版厚は、「鋼構造物設計指針 PARTB」<sup>3)</sup>の式を用いて決定した。なお、拡幅されていない箇所においても、桁間の床版支間が 5.61m あることから、床版厚は全長に渡り一定とし、260mm を採用した。

#### (2) 設計曲げモーメント

##### a. 死荷重曲げモーメント

床版死荷重や舗装などの等分布死荷重については、特に標準幅員部で桁配置のアンバランスがあるため、骨組み解析により曲げモーメントを算出し、道示式と比較し安全側の値を用いた。

##### b. 活荷重曲げモーメント

活荷重については、道路橋示方書<sup>4)</sup>によるものとした。床版支間の適用範囲を超えているものについては曲げモーメント式、床版支間による曲げモーメントの割増し係数ともにそのまま拡張して適用した。

なお、床版に分配横桁作用を期待し、横桁を省略することで上部工の合理化を図っている。このため FEM 解析にて床版の分配作用を考慮した曲げモーメントを算出し、道路橋示方書の曲げモーメント式と比較することで安全性を確認している。

#### (3) 床版断面

##### a. 床版作用

上記設計曲げモーメントに対して設計した結果を以下に示す。図-3 は最大床版支間部断面を示す。

底鋼板 : 6mm

Uリブ : 400x150x6

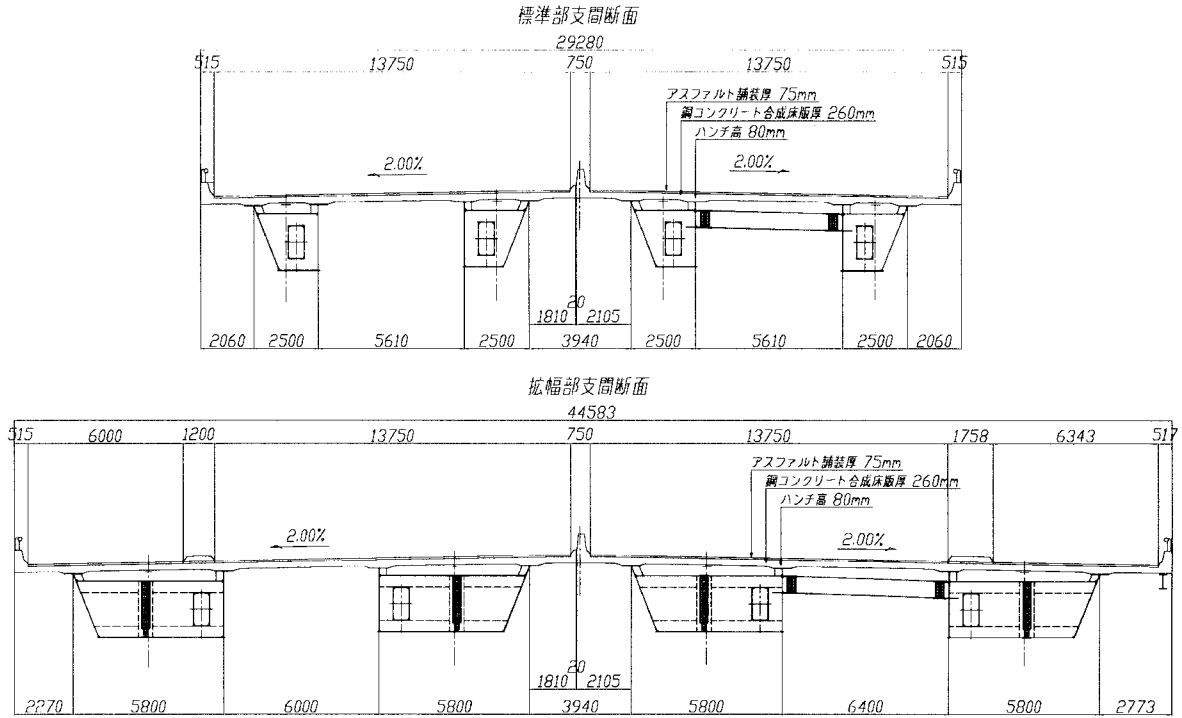


図-2 主桁桁配置

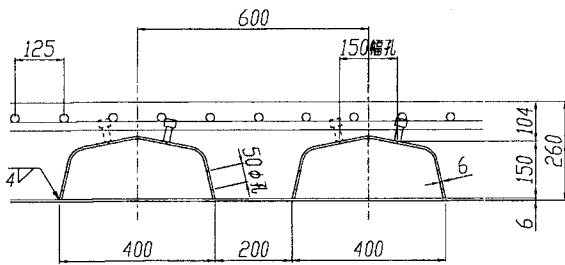


図-3 床版断面

の負曲げ範囲について、床版の配力筋を以下のように補強した。

上配力筋：D22 ctc 100mm

下配力筋：D25 ctc 200mm

床版断面積に対する鉄筋比は、約 2.4%となる。

(4) 構造詳細

a. 主桁取合い構造

本橋は支間が 80m を超え、かつ箱幅の狭い開断面箱桁であり、架設時の安全性確保が重要な課題であった。また、斜角による主桁たわみ差への追従、非常に緩やかな縦断勾配に対し排水勾配を確保するため路面出来形を確保すること等を考慮し、主桁取合い構造は高さ調整の可能な構造とした。図-4 に、主桁取合い部の構造詳細を示す。

b. パネル割りおよび縦継手構造

床版パネル寸法は、輸送上から 3m×15m を最大としたが、拡幅部については、外桁の鉛直ウェブ上にて縦継手を設けてパネル長を 15m 以下にしている。縦継手部では鋼部材を連続させず、鉄筋にて補強する構造とした。設計上は、前死荷重時には縦継手部のウェブ上はピンとして、コンクリート硬化後は連続版の支点として設計した。

上述の床版の分配横桁作用により、連続版支点部に正の曲げモーメントが発生することがわかった。これに抵抗するために、底鋼板については現場溶接にて繋ぎ引張鋼材として機能することとした。

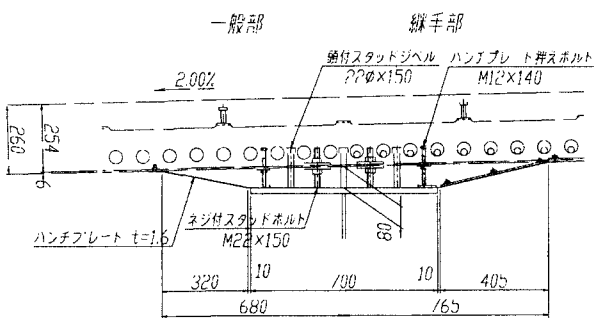


図-4 取合い部

主鉄筋：D22 ctc 125mm (標準部 D19 ctc 100mm)

上配力筋：D16 ctc 150mm

b. 主桁作用

中間支点上の負曲げ区間における有害なひび割れを発生させないよう、許容ひび割れ幅を 0.20mm として照査を行っている。後死荷重による曲げモーメント

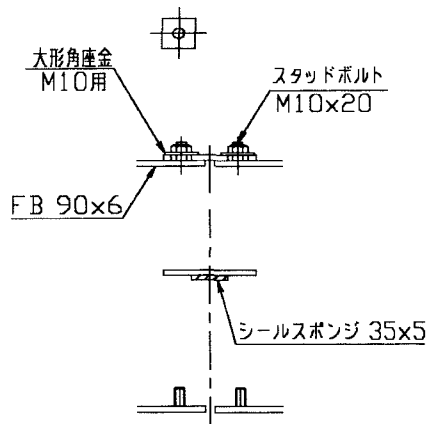


図-5 継手構造

c. 継手構造

床版パネルの継手は継手筋形式とし、底鋼板同士はスタッドボルト+添接板形式にて繋いでいる。力の伝達は継手筋にて行うため、添接板の主目的は止水である。本橋では添接板にシールスポンジを貼り付けスタッドボルトを締め込むことで止水を図った。図-5 に、継手詳細を示す。なお、継手筋については、D25 を ctc100mm にて配置した。

4. 性能確認試験

合成床版に要求される以下の4つの性能を実験的に検証した。

- ① 輪荷重に対する床版としての疲労耐久性
- ② 連続合成桁中間支点上床版としての適用性
- ③ コンクリートの施工性
- ④ 型枠剛性

(1) 輪荷重に対する床版としての疲労耐久性

a. 目的

輪荷重載荷による床版の疲労耐久性を検証する。

b. 実験

載荷試験機は、独立行政法人土木研究所の輪荷重走行試験機を使用した。載荷荷重は、157kN から4万回毎に19.6kN 増加させ392kN まで載荷した(全52万回載荷)。供試体は、プライマー塗装したものとコンクリートと鋼板の接触面に砂入り塗装を施したものの2種類とした。砂入り塗装は、施工時の防錆を目的としたものである。

c. 結果

実験終了まで、ひび割れもほとんどなく、破壊にいたることはなかった。図-6 に走行回数と最大たわみの関係をしめす<sup>5)6)</sup>。たわみを比較するとPC床版(PCR50)に比べて優れた疲労耐久性を有することがわか

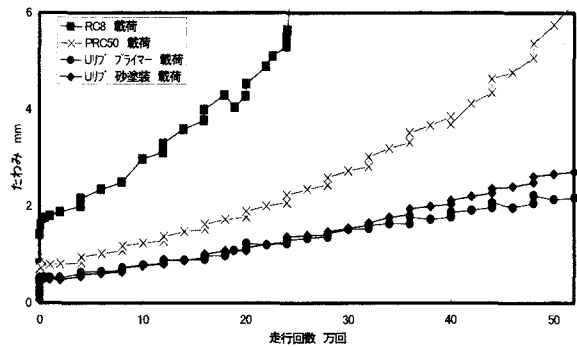


図-6 最大たわみと走行回数の関係

った。コンクリートと鋼板の接触面における塗装の有無による疲労耐久性への影響はみられなかった。木津川橋では、河川の瀬替えが必要となり合成床版の架設からコンクリート打設完了までが約1年となるため、施工時の防錆として桁支間中央も含めて床版全区間を砂入り塗装仕様とした。

(2) 連続合成桁中間支点上床版としての適用性

a. 目的

連続合成桁へ合成床版を適用した場合の負曲げモーメントを受ける中間支点上の床版ひび割れ性状を確認する

b. 実験

供試体は、中間支点部の実寸法床版厚260mmを有する幅1200mmの床版と鋼桁による合成桁とする。

供試体を上下反転させて、静的載荷を行ない、実橋相当の負曲げモーメントを与える。

c. 結果

図-7 に荷重載荷時のひび割れ幅と鉄筋ひずみの関係を示す(最大ひび割れ幅発生箇所)。

設計荷重におけるひび割れ幅は、最大のものでも0.17mmであった。

また、リブや継手部にひび割れが集中することなく、平均ひび割れ幅と最大ひび割れ幅の差が小さかった。

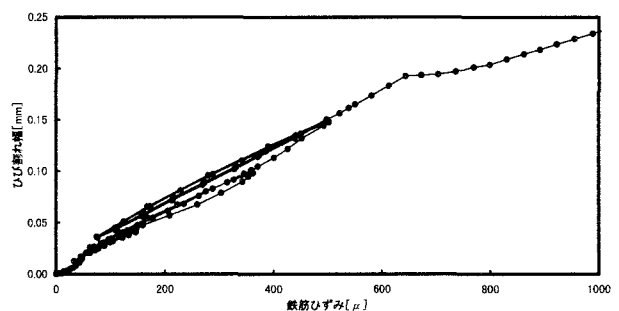
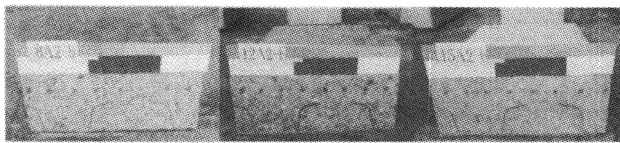


図-7 鉄筋ひずみとひび割れ幅の関係

(3) コンクリートの施工性

a. 目的

コンクリートのスランプ値と施工性、コンクリートの充填性を確認する。



8cm 12cm 15cm

図-8 コンクリート充填状況写真

b. 実験

スランプ値は8、12、15cmとして、実寸床版厚を有する5m×5mの供試体とした。

c. 結果

コンクリート硬化後に切断しコンクリート充填性を確認した。図-8に写真を示す。

コンクリートの充填性は、どのスランプ値のコンクリートにおいても良好であった。本橋では、1回の打設量が最大250m<sup>3</sup>程度と多くなるため、ワーカビリティを高めて品質を確保するのが合理的と考えてスランプ15cmを採用した。

(4) 型枠剛性

a. 目的

合成床版は鋼パネルが支保工の役割をするため、型枠として十分な剛性を有することが求められる。本橋では、コンクリート打設時のたわみを1/600以下として設計している。

b. 実験

実物大の床版パネルを製作してコンクリートを打設し、たわみを計測した。

図-9にたわみ形状を設計値と比較して示す。

c. 結果

たわみは梁理論として求めたたわみとほぼ一致しており、梁理論で設計することで十分な型枠剛性を保持できることがわかった。

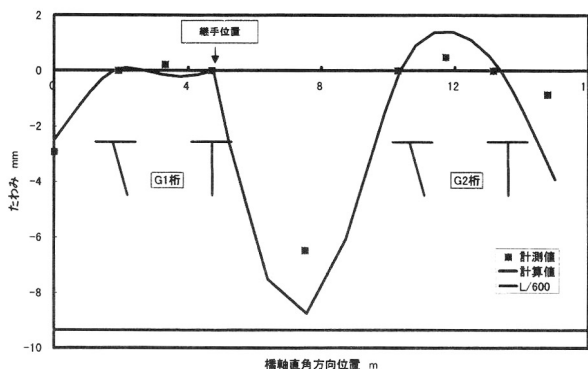


図-9 打設時たわみ

## 5. Uリブ合成床版の施工

### (1)合成床版パネルの架設

本工事のUリブ合成床版架設においては、以下の特徴があった。

- ① 主桁・合成床版約14,000m<sup>2</sup>の架設を一湯水期

に完了すること。

- ② 合成床版パネルの架設工程が遅延した場合、全体工程が大きく影響を受けること。
- ③ 合成床版の据付けに際し床版パネルが多点支持状態となり精度よく架設する必要があること。
- ④ 床版寸法が幅3m×長さ5m～13mと大きく、パネル端部にはスタッド等の床版パネルの接続構造があるため損傷に注意を要すること。
- ⑤ 架設合理化の為、ハンチプレートをパネルと一体架設した。このため、ハンチプレートの破断・変形に留意すること。

この他、Uリブ合成床版の架設に際して、工程短縮を図る為、パネル平面位置確認方法、部材の玉掛け方法の考案、高さ調整の簡略化方法などを考慮した。

Uリブ合成床版の架設に際して、当初、パネルの長手方向に天秤等を使用する予定であったが、床版パネルのUリブ本体が作用方向の力に対して十分な曲げ座屈耐力があることが確認できたため、玉掛けワイヤ・高さを調整することによりUリブ側面の孔（鉄筋挿入孔）に鋼棒を貫通させて吊上げる治具（φ40mm 棒端部にはナットでスレ止めを有するジグ）により玉掛けを行った。

架設位置の確認は、主桁天端に予め3ブロック毎の罫書き線（罫書き・9m 毎）を工場にて入れ、3パネル架設毎に平面位置微調整を行う方法で据付誤差を修正しながら架設した。これにより架設したパネル部材は、大きな平面方向の再調整なしに順次据付けることができた。

本工事に使用したUリブ合成床版は、ハンチ部での高さ調整機能（有効調整代は、±10mm 程度）を有する。このため、本工事では支点支持後のキャンバーを計画値に対して0～-5を目標として管理を行った。なお、若干のマイナス方向にするのはハンチ高を設計寸法より小さくさせないためである。鋼桁の支点支持後、ハンチ部での高さ調整機能を用いて、若干の誤差が発生し高さの微調整を行っている。

床版パネルの継手部分には、継手鉄筋（D25 L=1.5m）が一律配置され、中間支点付近は主桁鋼断面の一部を構成する主桁方向鉄筋（D25 L=4.5m）が配置されている。これらの鉄筋は、床版パネルの仮置き場で架設前に図面上の配置を確認しながら床版パネルに挿入した。

以上の結果、合成床版パネル架設は、当初計画どおり順調に架設することができ、構造上あるいは工程上問題となるような不具合は生じなかった。

### (2)合成床版のコンクリート施工

本工事のUリブ合成床版のコンクリート施工においては、以下の特徴があった。

- ① Uリブ内への充填管理

Uリブ内へのコンクリート充填性試験では、図-8に示したように、良好な結果が得られた。しかしながら、実橋では構造上の弱点となりやすいコンクリートの打ち継目を少なくするため、1回の打設数量が最大 250 m<sup>3</sup>程度となる。打設作業時間が長くなるため作業員の集中力の持続が懸念された。このため、コンクリートを適切に打設するために、以下の点に留意して施工を行った。

- ・ 十分な作業員の配置  
通常、床版コンクリートの打設には15人/ポンプ程度の作業員が配置されるが本工事においては20人/ポンプの作業員を配置した。
- ・ 50mmバイブレーターの使用  
床版工事に使用されるバイブレーターは重量の軽い30~40mmであるが、短時間に十分な締め固めを行うために50mmのバイブレーターを3台使用した。また、コンクリートの沈降を促すため2次バイブレータを打設地点から3m程度後方で施工した。
- ・ 流動化剤の4台ごとの投入管理  
作業性を改善し、コンクリートの打設時間を短縮するために、コンクリートのスランプを8cmから15cmに現地にて流動化した。流動化剤は気温、単位水量、攪拌時間、経過時間に鋭敏に反応するため投入数量を固定できない。スランプの低下は施工速度を大幅に遅延させ、スランプの増大はコンクリートの材料分離を引き起こすため4台ごとにスランプ試験を行い投入数量の調節を行った。

以上のような管理により、Uリブ合成床版のコンクリートの充填性を確保した。

## ② 打設時間の管理

木津川橋は6径間の連続合成桁であり、打設順序により先行して打設した床版に床版打設にともなう応力が発生する。この応力を極力抑えるため、まず、橋長方向に対象となるように、2区間の床版を同時に施工した。さらに、打設区間毎に、床版コンクリート打設時間の管理を行った。すなわち、コンクリートの凝結の始発前(プロクター貫入値35発生前)に打設を完了させるよう管理を行った。以下に施した対策を記する。

- ・ タイムテーブルの作成による管理  
全数量分のタイムテーブルを作成し緻密な時間管理(出荷、到着、打設開始、打設終了)及びアジテーターの手配を行った。これにより現地でのアジテーターの過剰な待機時間や搬入待ち等をなくすことができた。

## ・ 生コンプラントへの技師の派遣

生コンプラントに技師を派遣し出荷管理をリアルタイムに行うことにより練り上がり時間を調節して時間管理を行った。

以上のような、打設時間の管理は高品質な床版を施工するために必要であると考えており、木津川の現場においては、打設時間の管理を実際に管理することができた。合成床版に限らず、コンクリートの打設においては、充填管理と打設時間管理を重視していくことが必要と考えている。なお、木津川橋の床版は、現段階においてひび割れが確認されていないことを記しておく。

## 6. まとめ

Uリブ合成床版の広幅員開断面合成箱桁橋への適用について検討した内容を示した。木津川橋へのUリブ合成床版の設計を通じて、平面線形の複雑な橋梁への適用性が確認された。また、鋼板への砂入り塗装と無塗装仕様による疲労耐久性の差がないこと、鉄筋応力を制御することで中間支点部のひびわれ幅が制御されること、スランプ8cmから15cmで充填性の差はないことが実験により確認された。さらに、施工面においても、パネルの架設、配筋等に問題はなく、コンクリートの打設を適切に管理することで、高い品質のUリブ合成床版を完成することができることを確認した。

最後に、Uリブ合成床版の木津川橋への適用に際して、国土交通省近畿地方整備局京都国道工事事務所から、コンクリートの施工管理などについて、多くの指導を受けたことを付記し、感謝の意を表したいと思います。

## 参考文献

- 1)日本道路公団技術部構造技術課：「橋梁の技術開発」,パンフレット,1997年3月
- 2)京都国道工事事務所：木津川橋パンフレット
- 3)土木学会：鋼構造物設計指針PART B 合成構造物,平成9年版
- 4)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編,平成8年12月
- 5)国土交通省土木研究所：道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書(その4),平成13年1月
- 6)滝口伸明,猪村康弘,川畑篤敬,加納勇：Uリブ合成床版の疲労強度特性,第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集,平成12年5月