

(109) 保津橋の計画と設計

京都府土木部道路建設課国道橋梁係
 京都府亀岡土木事務所道路計画課
 (株)総合技術コンサルタント大阪支社
 住友・川田・金下共同企業体

林 龍夫
 ○岸上岩樹
 牧田淳二
 正会員 齋藤謙一

1. はじめに

現在の保津橋は、主要地方道亀岡園部線が一級河川桂川(保津川)を横過し、亀岡市市街地と市東部地域とを結ぶ箇所に架かる橋梁であるが、老朽化および幅員狭小のため、また桂川河川改修事業とも併せて架け替え事業が計画され、現架橋地の下流約200mの位置に新たに橋梁(保津橋)を架設することとなった。

(図-1)

架橋地点は京都府下有数の観光名所である「保津川下り」乗船場に近接しているため、橋梁計画にあたっては、構造的・経済性はもとより、地域づくりの核(観光地のランドマーク)としての付加価値を担う構造となるように配慮した結果、京都府内では初めての橋梁形式であるPC6径間連続ラーメンエクストラードゾド箱桁橋(等桁高)を採用した。

本稿では、保津橋の橋梁計画と上部工の設計についての概要を述べることにする。

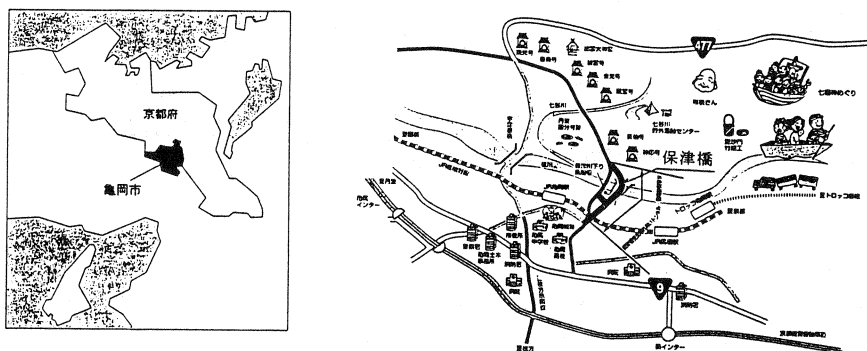


図-1 位置図

2. 橋梁概要

橋梁概要として橋梁一般図を図-2に示す。

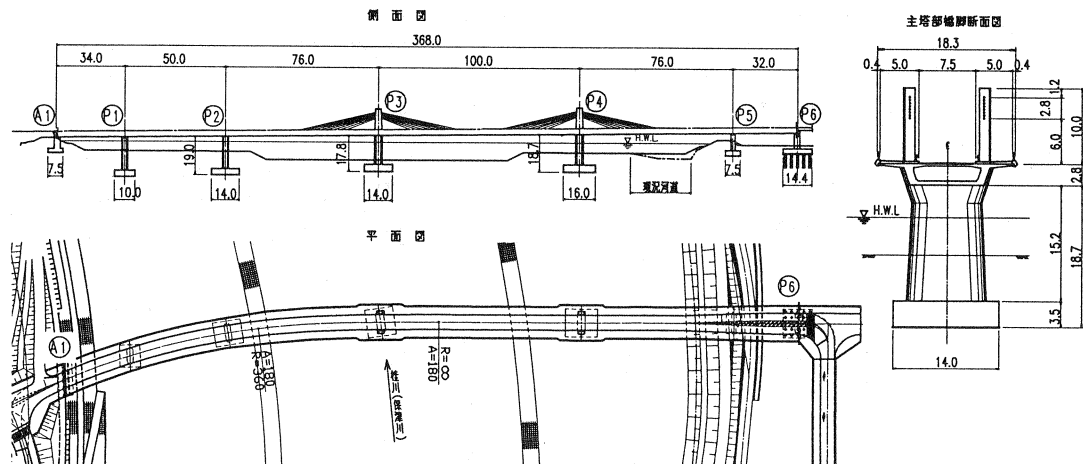


図-2 橋梁一般図

3. 計画概要

3-1 形式選定経緯

橋梁形式の選定に当たっては、

- ①河川条件(現況河川、改修計画河川) ----- 基準径間長、障害率。
- ②保津川下りの船の航行路を確保 ----- 右岸堤防前面部に航路。

の条件を満足する支間割り(基準径間長: 47 m、航路幅: 40 m)を有し、河川内上部工事を空中施工とすることの出来る形式として表-1に示す3形式を比較検討した。この結果、構造的・施工性・経済性に対する評価はもとより、ランドマークとしての付加価値を担う構造形式としても優れる”PC6径間連続エクストラード箱桁橋”を採用した。

当該構造形式¹⁾は、近年国内において既に数橋の施工事例が見受けられるが、京都府内においては初めての橋梁形式である。

橋 梁 形 式	考 察
<p>PC5径間連続箱桁橋 334.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・河川部を5径間構造とした、最も橋長の短い橋梁計画案。 ・現況河川部での施工は、掘出し施工を基本と考えるが、側径間(P4~P5)の一部約20m区間には支保工が必要となり、保津川下りの船の航行路に支障をきたす。 ・現況河川・改修計画河川断面において、P3、P4橋脚により航路幅は25m程度しか確保できない。 ・確保出来る航路幅が狭く、交差条件を十分に満足しない。
<p>PC6径間連続箱桁橋 379.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・河川部を5径間とし、終点側に1径間を追加する全6径間構造の橋梁計画案。 ・現況河川部全ての径間を掘出し施工にて対応できることより、保津川下りの船の航行路を確保できる。 ・現況河川・改修計画河川断面において、航路幅は40m確保できる。 ・総工費: 2210百万円(比率1.00)
<p>PC6径間連続エクストラード橋 374.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・上記6径間構造の径間長を変更し、エクストラード橋を用いる橋梁計画案。 ・現況河川部全ての径間を掘出し施工にて対応できることより、保津川下りの船の航行路を確保できる。 ・現況河川・改修計画河川断面において、航路幅は40m確保できる。 ・総工費: 2230百万円(比率1.01)

表-1 形式比較表

3-2 支承条件

支承条件に関しては、表-2に示す3ケースについて比較検討を実施した。この結果、①主塔部を剛支点(ラーメン支点)とすることにより外ケーブルの応力振幅が軽減され、外ケーブル本体の疲労に対する安全性が高まる。②内部拘束力が増加するものの、高価な支承の数が減少する。③全体工事費として経済性に優れる。以上の理由により、3脚ラーメン構造を採用した。

支 承 条 件	考 察
<p>連続桁構造 374.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・反力分散方式のゴム支承を用いた連続桁構造とする案。 ・地震時慣性力を各橋脚に分散させることにより、下部構造規模を小さくすることができる。 ・非常に高価である高反力支承を数多く用いるため、橋梁全体としては高価となる。 ・総工費: 2490百万円(比率1.15)
<p>2脚ラーメン構造</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・主塔が位置するP3、P4橋脚をラーメン構造とする案。 ・地震時慣性力は、ラーメン構造としたP3、P4橋脚にて負担するため、P3、P4橋脚の構造規模は大きくなるが、支承数を減らすことができる。 ・主塔部での桁の回転を拘束することにより、外ケーブルの活荷重による応力振幅が小さくなり、外ケーブルの安全性を高く評価することができる。 ・総工費: 2230百万円(比率1.02)
<p>3脚ラーメン構造</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・主塔が位置するP3、P4及びP2橋脚をラーメン構造とする案。 ・上記に比べ固定支間長が長く内部拘束力は大きい。地震時慣性力をラーメン構造としたP2~P4橋脚にて負担するため、P3、P4橋脚の構造規模は上記案より小さくなり、支承数も減らすことができる。 ・上記案と同様に、外ケーブルの安全性を高く評価することができる。 ・総工費: 2180百万円(比率1.00)

表-2 支承条件比較表

3-3 箱桁断面形状

箱桁断面形状は、外ケーブルの定着位置に着目し、表-3に示す2ケースを比較検討した。この結果、死荷重時のアンバランスモーメントによりウェブに生じる曲げモーメントが小さく、外ケーブルの維持管理および景観性に優れる”外ケーブル箱室内定着”を基本断面形状とした。

なお、本橋は張出し架設による施工が基本であることより、施工性の向上・主桁自重の軽減、また、外ケーブルから伝えられる力を明確に主桁に伝達するためウェブ近傍に直接外ケーブルを定着することも考えあわせ、1室箱桁断面を基本とした。

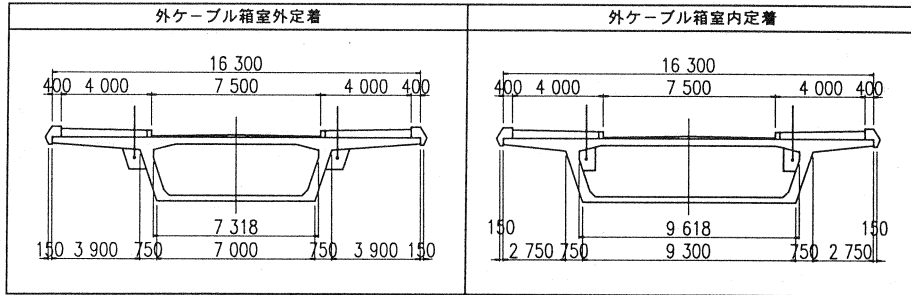


表-3 断面形状比較表

3-4 主桁高変化

主桁高変化については、主桁高変化有無の比較を実施し、施工性・経済性に優れ、景観面においてもすっきりとした構造美を表現し、「保津川下り」観光客に圧迫感を与えることのない等桁高構造とし、主桁高については比較検討の結果、経済性に優れるH=2.8mを採用した。

3-5 サドル構造

主塔部での外ケーブル固定方法は既存橋で考えられているように、定着構造の小型化・施工の煩雑さの解消を図る目的にて貫通固定方式のサドル構造を採用した。実績によれば、サドル構造における”外ケーブルに発生する左右張力差の固定部への伝達構造”には大別して3種類(表-4)あり、本橋では、伝達構造がシンプルで構造規模も小型となる”内管(鋼管)を介して固定部に伝達する構造(Type-1)”を採用した。

伝達構造(概念図)	Type-1. 内管部材との付着 シムプレート, リングナット	Type-2. ソケット部材との付着 シムプレート, リングナット	Type-3. せん断キー, 定着ブロック
実施例: 銜原橋	実施例: 小田原ブルーウェイブリッジ 蟹沢大橋(カットは引張側)	実施例: 屋代南・北橋	
構造概要	ストランドに生じる左右張力差は、主塔部材内の内管へグラウトを介して伝達され、引張側の反対側にあるシムプレート、リングナットなどにより主塔部材へと伝わる。	ストランドに生じる左右張力差は、主塔部材外のソケット部にグラウトを介して伝達され、引張側の反対側にあるシムプレート、リングナットなどにより主塔部材へと伝わる。	ストランドに生じる左右張力差は、主塔部材内の内管へグラウトを介して伝達され、せん断キーにより主塔部材へと伝わる。
構造得失	主塔部材内部において、内管との付着長を確保しており、主塔部材外に必要とされるシムプレート、リングナットなどの構造を小規模とすることができる。 付着長によって、主塔部材厚の最小寸法に制約を受ける場合がある。 主塔部の外ケーブル出入口部は、外観上すっきりとしたものとなる。	主塔部材外部において、ソケット部との付着長を確保しており、付着長により定められるソケット部材長が主塔部材外に必要となる。 主塔部材厚は、サドル曲線区間長により最小寸法の制約を受けるが定着構造としての制約はない。 主塔部の外ケーブル出入口部に比較的大きな部材(ソケット部材)が取り付くことにより、外観上すっきりとしたものとはならない。	主塔部材内部において、せん断キー、定着ブロックを用いて伝達することにより、主塔部材外には何もいらない。 せん断キーを握り付けるための開孔部を主塔部材面に設ける必要があり、外ケーブル取替時に再度この開孔部を利用することにより、後処理に工夫が必要。

表-4 外ケーブルに発生する左右張力差の固定部への伝達構造比較一覧

3-6 外ケーブル段数、主塔高

外ケーブルの段数、主塔高については、既存橋の構造諸元を目安に構造比較を実施し、経済性・構造性において遜色のない組み合わせとして、外ケーブル段数: 8段(主桁部定着間隔3.5m)

主塔の高さ : 10m を採用した。

4. 設計概要

4-1 主桁(主方向)

箱室幅の広い桁断面を梁部材としてモデル化し構造系を解析したため、主桁の設計に考慮する外ケーブルプレストレス力の有効作用位置は、文献2)に示されているFEM解析結果を参考にして、道路橋示方書³⁾に示されている応力分布角度(33° 40′)を用い以下のように設定した。

外ケーブルによる曲げ成分：外ケーブル定着位置より 3.5m離れたブロックより有効。

外ケーブルによる軸力成分：外ケーブル定着位置より 7.0m離れたブロックより有効。

4-2 主桁(横方向)

箱桁断面は、箱室内のウェブ近傍位置に外ケーブルを定着することより、

- ・外ケーブル緊張スペースの確保。
- ・移動作業車と外ケーブルとの干渉の回避。

に留意し、ウェブ位置(箱室幅)を決定した。

この結果、1室箱桁であるため上床版支間長が標準断面で9.6mを越えることとなった。一方、

道路橋示方書記載の活荷重による床版断面力算出式は6.0mを上限として示されている³⁾。そこで、既往の技術資料^{4, 5, 6)}を参考に、理論値と有限要素法解析(FEM)値との差異を比較検討し、主桁横方向の断面力算出および設計手法は下記に示す方法を用いることとした。

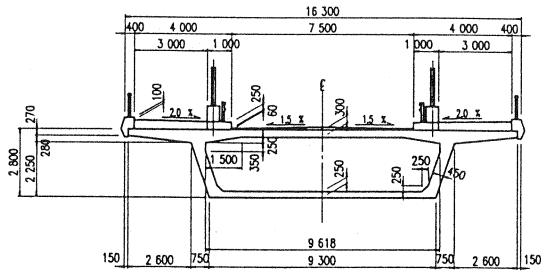


図-3 標準断面図

① 死荷重・群集荷重による断面力は、平面骨組解析(ボックスラーメン)により求める。

② B活荷重による断面力は、

a) 有限要素法解析(FEM) (図-4)

b) 道路橋示方書記載式の適用範囲を延長して算定

の2種類の算出方法を用いる。なお、有限要素法解析(FEM)値に対しては、道路橋示方書³⁾に示されている”理論値に対する安全”を加味し、20%の割り増しを行った。

③ 上記2種類の異なるB活荷重断面力により得られる設計断面力(死荷重+活荷重)に対し以下の様に設計した。

a) 小なる値を示す有限要素法解析(FEM)値を用いる設計断面力に対しては、PC部材として設計した。すなわち、合成曲げ引張応力を発生させない設計。

b) 大なる値を示す道路橋示方書記載式の値を用いる設計断面力に対しては、PPC部材として設計した。すなわち、ひび割れ幅を制限した設計。

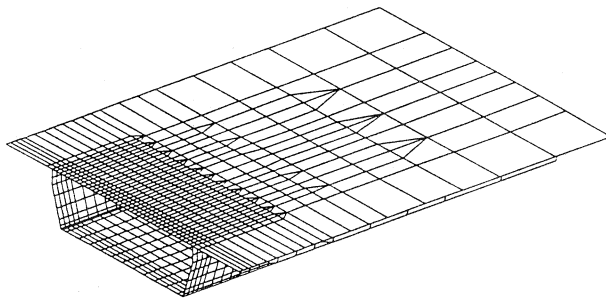


図-4 有限要素法解析(FEM)モデル図

なお、外ケーブルの配置角度が浅く、主桁側定着部での上床版貫通区間幅が広がる。(図-5)

このため、床版横締めPC鋼材としては、経済性にも優れ、配置間隔を大きく広げて外ケーブルとの干渉を極力さけることのできる大容量PC鋼材7S12.7 ($P_u = 1344 \text{ KN}$)を採用した。

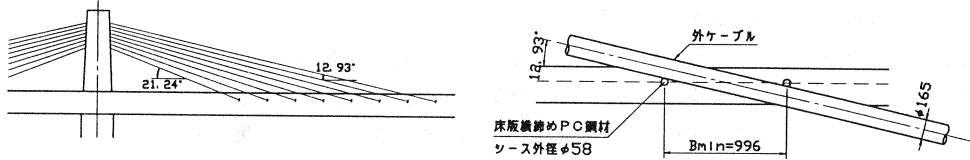


図-5 外ケーブルと床版横締めとの関係

4-3 主塔

主塔部材のうちP3橋脚部のは平面線形がクロソイドを有する位置にあるため、橋軸直角方向に常時偏心曲げモーメントが作用する。また、活荷重が橋軸方向に非対称に載荷される時には橋軸方向にも曲げモーメントが作用する。これら2方向の曲げモーメント(常時状態)に対して、コンクリートの許容引張応力度 (-1.5 N/mm^2)以上の引張応力が生じないように鉛直方向にプレストレスを導入した。

4-4 外ケーブル

活荷重による応力振幅が 41 N/mm^2 (49 N/mm^2 と小さな値を示すことより、外ケーブルに対する安全率を部材内PC鋼材と同等の1.67と設定した¹⁾。また、取り替えを可能とすべく、外套管を有する定着具を採用し、外ケーブル防錆のためポリエチレン管を保護管とし、内部にグラウト材を充填する二重防錆構造を考えた。

4-5 主桁鉄筋のプレハブ化

移動作業車を用いての張出し架設を行う際に、施工工程の短縮・現場省力化および品質向上を目指して、主桁鉄筋のプレハブ化(プレハブ鉄筋工法)を計画した。

鉄筋接合部では継手長の長い”重ね継手”を千鳥配置として用いることが基本である。しかし、この場合には” $L a + 2.5 \phi + L a$ ”の鉄筋接合区間が必要となり、プレハブ鉄筋にこれを用いるならば、予めスターラップや床版鉄筋等の横方向鉄筋を組み立てられる範囲が狭められ、プレハブ鉄筋設置後の配筋作業が大幅に残り、十分な省力化が実現出来ないと言う問題がある。

そこで、鉄筋接合区間を短くすることを計画し、プレハブ鉄筋接合部に全数ループ継手を用いることとし、標準ブロック(長さ3.5m)におけるプレハブ化率を約9割に高めることが出来た。(図-6)

当計画の採用に先立ち、ループ継手性能を確認するための床版部切り出しモデルに対する実験を実施した。なお、ループ継手については、活荷重を対象とした高サイクル繰り返し耐力性能に関する研究はあるが、今回実験は地震を対象とした高応力繰り返し耐力性能の確認実験とした。(図-7、写真-1)

実験の結果、”全数ループ継手”が”千鳥配置の重ね継手”と同等以上の性能を有することを確認出来た。

なお、この耐力性能確認実験に関する報告は、今回のシンポジウムにおいて”繰り返し高圧縮応力を受ける全数ループ継手の性能評価”と題して発表する機会が得られたので、詳細はこれを参照していただきたい。

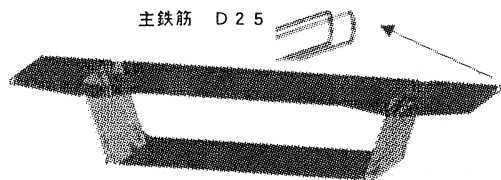


図-6 プレハブ鉄筋

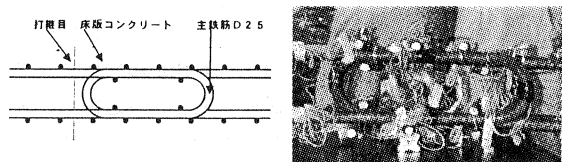


図-7 試験体配筋図

写真-1 試験体配筋

5. 耐震設計

耐震設計は、道路橋示方書V耐震設計編(平成8年12月)⁷⁾に基づき、震度法及び地震時保有水平耐力法(静的解析法)により設計すると共に、ラーメン橋であることより動的解析(非線形時刻歴応答解析)法によっても構造物の安全性を確認した。

動的解析での部材のモデル化は図-8に示すように、主桁、橋脚共に各部材断面を矩形に分割し、材料非線形も考慮したファイバー要素とした。なお、橋脚は円弧部に配置した側方鉄筋を考慮せず、直線部の主鉄筋のみを評価した。同様に、主桁はウェブ内主方向鉄筋を考慮せず、上床版・下床版内の主方向鉄筋のみを評価し、部材内に配置されるPC鋼材については所定の位置においてこれを評価した。

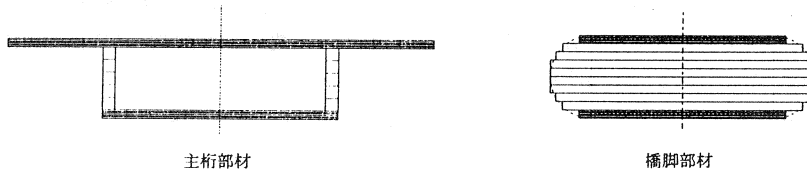


図-8 部材のモデル化

解析の結果、下部工部材については静的解析法により得られた配筋要領で十分な耐力を有していることが確認されたが、上部工部材に関しては静的解析法により得られた配筋要領では最外縁鉄筋の初降伏ひずみ($\epsilon = 1.667\mu$)を満足させることが出来ず、最終配筋としてD25を一部区間に配置する必要が生じた。

6. おわりに

保津橋は平成9年11月より工事に着手し、平成11年7月初頭現在では、P5・P6橋脚を除く5基は完成し、P5・P6橋脚も8月末完成を目標に工事を進めている。上部工A1～P2径間支保工施工区間もほぼ終盤を迎えるに至っている。P3・P4橋脚からの張出し架設区間柱頭部ブラケットの据え付けも順調に進み、張出しブロックの施工は9月末頃を予定している。

参考文献

- 1) 山崎、山縣、春日：斜材により補強されたコンクリート橋の構造特性、橋梁と基礎、pp33～38、1995年12月
- 2) 菊池、志村、田端、荘司：蟹沢大橋(エクストラロードPC橋)の設計、PC技術協会第6回シンポジウム、1996年10月
- 3) 道路橋示方書・同解説 IIIコンクリート橋編、日本道路協会、平成8年12月
- 4) 山陽自動車道衝原橋の設計・施工に関する技術検討、高速道路技術センター
- 5) 第2東名高速道路 調査研究、高速道路技術センター
- 6) 鋼橋の小主桁化に関する試験研究、日本道路公団試験研究所、平成7年2月
- 7) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、日本道路協会、平成8年12月