

ドナウ川に架かる新たな橋：ヴィディン市ーカラファト市 New Bridge over the Danube : Vidin-Calafat

著：Fernando Florez Llanos, Jose Rafael Jimenez Aguilar, Jose Ignacio Diaz de Argote Cervera
訳：会誌編集委員会海外部会*

ドナウ川に架かるこの新たな橋は、トルコからドイツへと繋がる汎ヨーロッパ回廊4号線の一部である。この新しい橋の主な特徴は、ヴィディン市（ブルガリア）とカラファト市（ルーマニア）を分けて流れるドナウ川を横架し、一つの橋で鉄道と高速道路の両方を繋ぐことである。本橋はプレキャスト構造を採用し、航路部を跨ぐ長さ180mの支間を有する連続エクストラード橋部と、非航路部を跨ぐ長さ80mの支間を有する連続橋部に分割される。主橋梁の幅員は31.35m、主桁断面は桁高4.5mの一室箱桁である。本工事ではプレキャストカンチレバー工法が採用された。プレキャストセグメントは非航路部では架設術を用いて、航路部ではトロリー式クレーンを用いて架設された。

キーワード：プレキャストセグメント、片持ち架設工法、エクストラード橋、サドル定着

1. はじめに

本橋は、ブルガリアの北西部に位置し、ドナウ川を跨いでヴィディン市（ブルガリア）とカラファト市（ルーマニア）を結ぶ橋梁であり、設計・施工契約の入札は、ブルガリア共和国の交通・科学技術・通信省により行われた（図-1）。

このドナウ川を跨ぐ橋は、プレキャストセグメント構造を採用した同種工事の施工実績を7件以上有する（最大支間長160m）経験豊富な建設会社が落札し、プレキャストセグメントを用いた片持ち架設工法を採用して設計・施工された。



図-1 ルーマニア側より望む全景

2. 構造形式

本橋は、片持ち架設工法で施工されたプレキャストセグメント方式のエクストラード橋である。橋梁の全長は鉄道橋のアプローチ部を含め1791mで、幅員は31.35mである（図-2）。

ドナウ川に架かる主橋は橋長1391mである。河川は航路部と非航路部の二つに分けられる。深さ5mの非航

路部は、ブルガリア側の橋台と第8橋脚までが位置し、標準支間は80mである。深さ14mの航路部には、第8橋脚からルーマニア側の橋台までが位置し、標準支間は180mである。河川には季節によって最大10mもの水位差が生じ、これによって橋梁の施工が一層困難なものとなった。

アプローチ部の鉄道橋は、ブルガリア側で主橋と接続している（図-2）。アプローチ部の標準支間は40mで、主橋の4径間で主橋両側の道路部に挟みこまれる形で一体化している（図-3）。主橋の支間割りは52m + 7 × 80m + 124m + 3 × 180mである。斜材はルーマニア側の4つの主塔に定着されており（図-2）、幅員の中央10mは鉄道の軌道である。両側の道路部は幅3.75mの2車線で、歩道および防護柵を有している。主桁断面は桁高4.5m、幅7.2mのプレキャストセグメントの箱桁で構成されており、片持ち架設工法により組み立てられた。床版は断面中央の箱桁が組み立てられたのち、事前に製作されたストラットで支持し、場所打ち工法により拡幅された。床版には、最大80MPaの自己充填コンクリートが使用された。

3. 基礎

橋梁部の地盤構成は、深部の粘土層と表層の4層からなる砂礫層および3mに堆積した砂層からなる。河床の高さは、バルト海を基準面として18~24mの高さで変化している。

エクストラード橋の4つの主塔の基礎は直径2m、最大長さ80mの24本の杭によって構成されている。それらの杭は、周面摩擦により荷重の約2/3に抵抗する摩擦杭である。寸法40m × 15m × 6mの航路部パイルキャップは2段階で打設された。第1段階では、下部3m分のコンクリートが鋼管を利用して設置された埋殺し型枠の上に打設され、第2段階で上部3m分が打設された。

航路部の杭施工にあたっては水上での工法を採用する

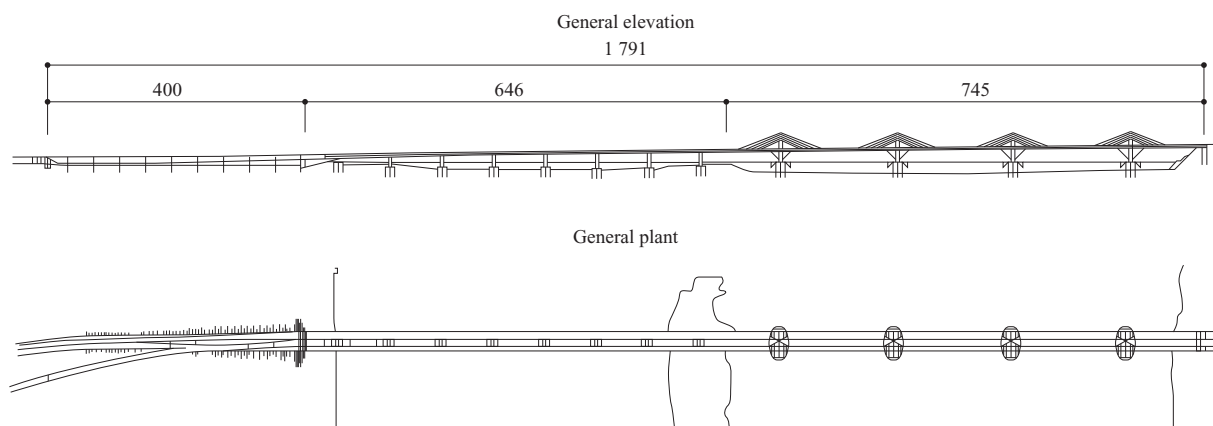


図 - 2 全体側面図および平面図

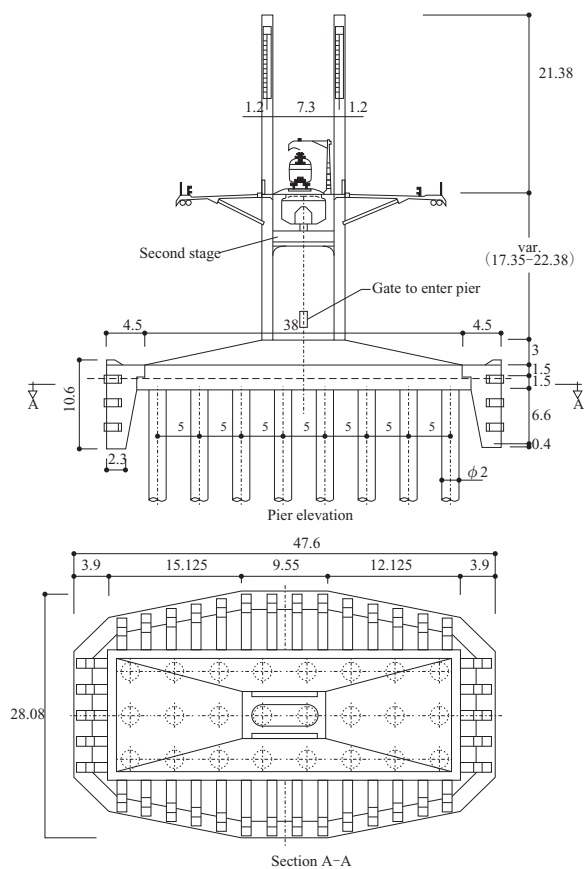


図 - 3 航路部橋脚の断面図および平面図

必要があったが、これは非常に困難で時間を要する作業であった。杭施工においては、まず 12.5 mm 厚の鋼管を粘土層に 3 m 打ち込んだ。地盤に打ち込まれた長さは合計で 20 m 程度であった。その後、ベントナイトを注入し孔壁の安定を保ちながら掘削を行った。良好な先端支持力を確保するために、杭先端ではエアリフトと特別なバケットを用いた二重の洗浄処理をコンクリート打設直前に実施した。

非航路部では仮設の盛土（作業路）が橋脚の近くに建設された。シートパイルによる円形の土留め壁は、パイルキャップの施工のために用いられた。

4. 船舶衝突防止工

本橋基礎の特徴の一つとして、航路部の橋脚回りにおける船舶衝突防止工があげられる。河川の水位は 26 m から 36 m（水位差 10 m）と大きく変動するため、変動する水位に対応可能な衝突防止工を設計する必要があった。この課題を解決するため、PC 鋼材を用いてパイルキャップの周りに大型のプレキャスト部材を設置することとなった。これらの部材を設置した主な理由は、パイルキャップと船舶との直接の衝突を避けるためである。

合計 152 個に及ぶ衝突防止用プレキャスト部材は、航路部における 4 つの橋脚周りに設置された（1 橋脚あたり 38 個）。

各プレキャスト部材は 70 t から 140 t と巨大、かつ形状が複雑であることにより、難度の高い施工となった。衝突防止用部材の仮置き、移動、そしてプレキャストセグメント工場から河川上の台船への運搬には、特殊装置が必要とされた。

航路部の橋脚に運ばれた一対の衝突防止用部材は、パイルキャップに設置されたガントリークレーンにより順々に吊上げられた。組立て作業は、昇降、回転、設置箇所への移動後、PC 鋼棒により仮固定された（図 - 4）。その後、対称のもう一方の部材が同様の方法により設置された。最後に、両側の衝突防止用部材がプレストレスにより同時にパイルキャップに固定された。

5. プレキャストセグメント工場

プレキャスト部材を用いた片持ち張出し架設工法の採用により、新しい工場施設が必要となった。面積 22 ha 以上の工場施設が橋梁現場から 3 km 下流に設置された。床版に加え、衝突防止用部材、歩車道境界高欄、コンクリート製側溝等の橋梁部材が製作された（図 - 5）。

セグメントは 240 t 以上に及ぶものもあった。このサイズのセグメントは、大規模の昇降装置と、この重さに耐え得る何隻かの台船を必要とする。合計 466 個のセグメントは、5 つの製作ラインと 2 つのバッチャープラントにより製作された。また、河川へのアクセスのために新しい船着場が設置された。



図 - 4 船舶衝突防止工組立て

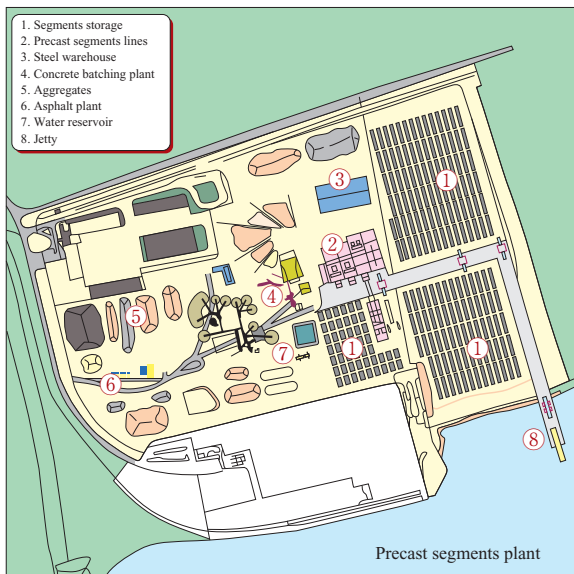


図 - 5 プレキャストセグメント工場

6. 主 桁

プレキャストセグメントの組立てと張出し床版の打設は、航路部か非航路部かに応じて2つの異なる施工方式を採用した。

非航路部の主桁は支間長が 80 m あり、架設桁を使用してプレキャストセグメントを組み立てた。架設桁の背面から移動式ホイストによってセグメントを輸送した。この範囲のプレキャストセグメントは、最大重量 100 t であり、長さは 2.15 m であった。張出し床版は、移動式支保工を用いて 2 段階で打設した。このとき、移動式ホイストによりセグメントを輸送することができるため、張出し床版のストラットセットと並行してセグメントの組立てが可能であった。

架設桁は支間長 180 m の航路部では使用することができなかった。この範囲のセグメントは 4.18 m の長さがあり、最大 250 t の重量があった。プレキャストセグメント工場では、プレキャストストラットを含むコアセグメン

トと張出し床版の第 1 施工部を打設した。その後、現場でプレキャストセグメントを組み立てたのち、張出し床版の第 2 施工部を打設した。

航路部では河川上からプレキャストセグメントをリフトアップした (図 - 6)。プレキャストセグメント工場は、新たに建設された港近くに位置していた。主塔に取り付けられた吊上げ装置を使用して、柱頭部セグメントを組み立てた。残りのプレキャストセグメントは、橋軸方向に移動可能な特殊な移動式トローリクレーンを使用して組み立てた。前後のセグメントのリフトアップには、移動式リフターを使用した。このリフターにより、セグメントが張出し先端まで移動することが可能となった。

プレキャストセグメントの接合部では、エポキシ樹脂を使用し、シーす周囲には樹脂漏れのシールを設置した。

プレキャストセグメントを組み立てた後、張出し床版を現場打ちし、内ケーブルの緊張と斜材の設置を完了させた。



図 - 6 航路部での施工状況

閉合部の打設において、コンクリート硬化中の過大な応力発生を避けるための制御装置を使用した (図 - 7)。打設に先んじ、打設日に類似する気候条件下での主桁温度モニタリングを 48 時間以上行ったことで、この応力を事前に推定することができた。これらの計測データを基に、閉合部を打設する最適な時刻を選定することができた (図 - 8)。

現場打ちの閉合部は非航路部で約 500 mm である。航路部では、3.2 m のプレキャストセグメントの位置調整を行うため、両端 500 mm を現場打ちとした。閉合セグメントの位置は最終的に閉合部を打設する頃には変動しているため、その変位を事前に精度よく予測することが重要であった。

閉合部施工においては、移動式トローリクレーンを用いた複雑な手順を採用したことで中断なく架設を進めることができた。温度の影響による端部鉛直方向変位によって移動式トローリクレーンが過荷重状態となることが考えられたため、モニタリングから得られた変位データをもとに閉合架設に最適な時刻を選定した。

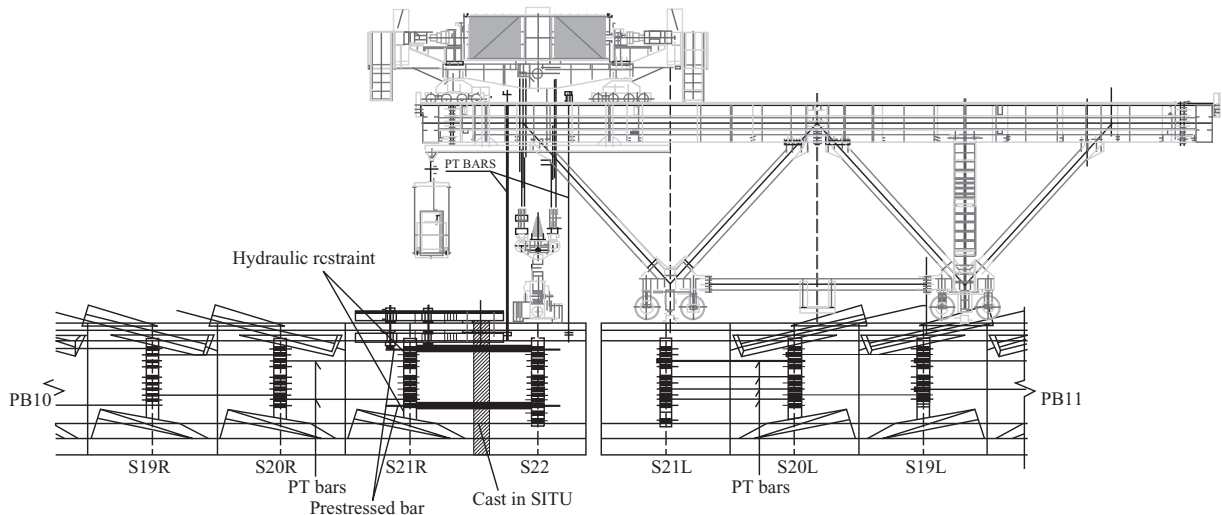


図 - 7 主桁と制御装置上の移動式トロリークレーン

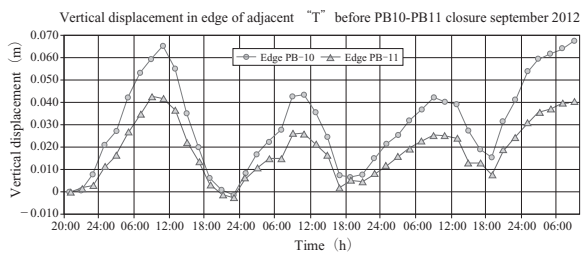


図 - 8 航路部上の主桁鉛直方向変位測定結果

ルーマニア側橋台方向の閉合セグメントは、河川の水深不足により運搬船がアクセスできず、河川上からのリフトアップを行うことができなかった。そこで以下の手順を採用した。まず、暫定的に仮設の盛土による作業ステージを設け、そのうえで主桁を場所打ち施工した。その後、他の径間で使用していた移動式トロリークレーンを転用して所定の場所へのリフトアップを行った。

非航路部のセグメント架設完了後、線形の調整作業を行った。この作業は橋脚頂部に設置された油圧ジャッキにより、80 m スパンの主桁を所定の位置に移動させるものである。しかしながら、航路部の主桁は橋脚、主塔、橋軸方向斜めストラットらにより結合されているため、調整を行えるタイミングが限られる。つまり、最初の5つのセグメント架設後から橋脚、主塔、ストラットの接合が行われるまでの間でしか調整を行えない。最初の5セグメントの位置が最終線形に及ぼす影響が極めて大きいことから、この調整作業は細心の注意を払って行う必要があった。

7. サドル

斜材のサドル部には最新のシステムを導入した。(図 - 9) このサドルシステムは2つの要素に分割される。1つは主塔に導入される内部プレストレス力である。これらの内部ストランドには、斜材の最終緊張を行う前に事前にプレストレスが導入される。その際、斜材に導入さ

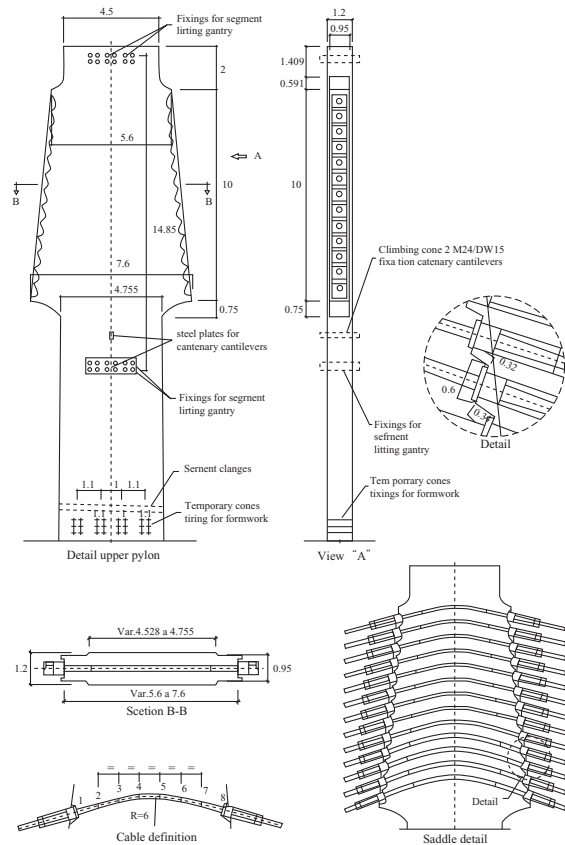


図 - 9 主塔およびサドル詳細図

れる緊張力が内部プレストレス力を超過しないように緊張力を導入する。これによりサドル内の緊張力変動の抑制が可能となり、定着部の変位を抑えることが可能となる。斜材と主塔内部ストランドはカプラーにより接続される。定着部を覗くための窓が設置されており、目視点検が可能となっている。また、システムは交換可能となっている。このシステムによって主塔にかかる負担が低減され、耐久性の向上を達成している。ストランドの耐腐食性能の向上、サドル入口部に発生する曲げを緩和し

○ 海外文献 ○

構造物（主塔）に伝達する機能，さらにはケーブルの設置，交換が容易であることなどがその主な特徴である。

8. 結 論

本橋は汎用性の高い製造設備を用いたプレキャストセグメントによる片持ち架設工法を前提に設計，施工された。その結果，安全性と施工性双方の向上が図られた。

本橋はブルガリアとルーマニアとの国境 600 km にわたり流れるドナウ川に設けられた二つ目の橋であり，近郊エリアの発展に大きく寄与するものである。

本プロジェクトは，橋を通じて両国を物理的かつ文化的にも繋げるという一つの目標に向かい，国同士が手を繋いだ典型的事例であるといえよう。

This article was first issued in English in *Structural Engineering International*, SEI, 3/2014, IABSE, Zurich, pp. 414-419, Aug. 2014. IABSE : www.iabse.org

*：会誌編集委員会海外部会委員
秋山 博 (株) 錢高組
横田 剛 (株) ピーエス三菱
三浦 廣高 (鹿島建設 (株))
田原 徹也 (首都高速道路 (株))
田中 慎也 (株) IHI インフラ建設

【2014年10月1日受付】

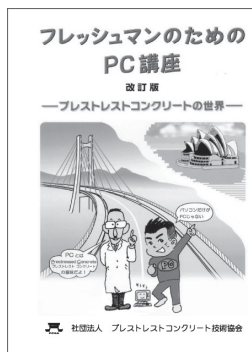


図書案内

フレッシュマンのための PC 講座・改訂版 — プレストレストコンクリートの世界 —

大変ご好評をいただいております「フレッシュマンのための PC 講座」も平成 9 年に第一版が発刊されてから約 10 年が経過いたしました。

その間に，基準値・規格値をはじめとした技術基準が従来単位系から SI 単位系に移行しました。また，プレストレストコンクリート構造物においても，複合構造等の新しい構造物が誕生しています。そこで，これらの項目を新しく見直して，改訂版を発刊することにいたしました。これからの技術者を育てるためには，大変有意義な図書であると確信しておりますので，是非有効利用されることをお勧めいたします。



主な改訂項目

- ・従来単位系から SI 単位系に変更しました。
- ・PC を利用した構造物の紹介に，最近の新しい構造物を盛り込みました。

発 刊 日：2007 年 3 月

定 価：3,600 円／送料 300 円／冊

会 員 特 価：3,000 円／送料 300 円／冊

体 裁：A 4 判，140 頁

申 込 先：公益社団法人プレストレストコンクリート工学会