

フロリダ州北西部の重要橋梁 — ペンサコーラベイブリッジ — (後編)

Pensacola Bay Bridge crown jewel of northwest Florida

著：Christopher M.Vanek, Charles Rudie, and Victor Ryzhikov
訳：会誌編集委員会海外部会

国道 98 号 (州道 30 号) 橋はフロリダ州のペンサコーラ湾に架橋された主要な東西輸送道路かつハリケーン避難経路であるものの、耐用年数に近づいているため、すべて架け替える必要があった。新設されるペンサコーラベイブリッジは、既設橋梁よりも広幅員とすることで交通容量を増加させるとともに、景観に配慮したシンボリックな橋梁とすることで、フロリダ州北西部で最大の橋梁プロジェクトとなった。前編では、本プロジェクトの発注から設計について報告した。後編では、本橋梁の構造・施工概要について報告する。

キーワード：接合部、プレキャストコンクリート構造、実物大模型試験、鋼桁、視覚化

6. 基礎構造

深度 10~13 m のシルト質砂の表土層と深度 37~76 m の中密な支持層による複雑な地層構成が基礎構造における課題であった。そこで、現場継手を用いずに杭の必要打込み長を確保するという課題に合致した解決策として、特殊なプレストレストコンクリート杭 (以下、PC 杭) が開発された。

アプローチ部の低橋脚は、フロリダ運輸省 (以下、FDOT) の標準である一辺 760 mm の正方形断面に PC 鋼より線を配置した最長 64 m の PC 杭で構築された。現場でのプレキャストコンクリート下部構造ユニットへの接合部には、杭頭に設けた波形鋼管による箱抜きを使用した。これにより、杭の必要打込み長の現場調整が容易となる。さらに、PC 杭とこれらの箱抜きの長さの調整は、試験杭を用いて予め調整することにより現場での調整作業を削減した。

高橋脚では、より高い曲げ耐力を必要としたため、一辺 910 mm の正方形の特殊な PC 杭が開発された。

これらの改良された杭構造を採用し、杭仕様と杭本数を試算して、杭の合計長さとしてフーチングサイズ、杭配置などへの影響を比較検討した。この結果、改良された杭構造を採用することで、必要な杭本数を 20% 以上削減することができた。

7. 下部構造

デザインビルドチームは、2 種類の V 字型橋脚を採用し、構造規模に合わせて施工方法と設計方法の調整を行った。アプローチ部では、低橋脚で自重が小さいことから、フーチング、柱および柱頭部をユニット化し、クレーン架設を可能とした (図 - 4)。110 t の重量があるフーチングは、杭頭に設置した超高分子量系の止水材を用いて、フーチングの下面を密閉状態とすることで、フーチング内の排水およびグラウトが可能となった。これにより効率的な接合が実現した (図 - 5)。

フーチング内の杭頭接合部は、杭頭と波形の箱抜きを接合することにより、曲げせん断に対して剛結構造とした。また、当初中詰めコンクリートとして用いる予定であった超高性能コンクリートは、現地において入手困難で不経済となり、施工性も悪いため、杭頭の埋込み長を低減できる頭付き鉄筋を採用することとした。

高橋脚へのすりつけ区間は、低橋脚と同様に施工性を維持するため、クレーンの吊り性能およびセグメント寸法を考慮しながら、柱・柱頭部のユニットとフーチングを分割する必要があった。そこで、フーチングと柱との接合部は、十分な付着性と耐久性を確保するために、以下に示す 2 段階施工で行われた。第 1 段階で、PC 杭とフーチング上に、柱・柱頭部のユニットを設置するために、ユニット下面から突出させたジベルをフーチング上面の大型の鋼製波形箱抜き内に配置し、コンクリート打設により固定した。第 2 段階で、コンクリート強度発現後に、ユニットとフーチングの施工目地にグラウトを加圧注入し、空隙を残留させることなく一体化させ (図 - 6)、フーチングと柱との接合部における付着性と耐久性を確保した。

フーチングの有無に関わらず、低橋脚においては、型枠製作の生産性向上を図るために、専用ヤードで製作された。また、ユニット化した鉄筋を用いることで製作ラインの効率化を図り、3 日間サイクルで製作された。

8. 高橋脚部の構造

高橋脚の詳細設計による橋脚形状の変更に伴い、杭全体の総重量が 5% 増加したため、施工工程の見直しを行った。まず、柱・柱頭部のユニットとフーチングを分割し、フーチングは現場打ち (以下、CIP) とした。CIP フーチングでは、埋殺しのプレキャストコンクリート型枠を使用し、柱・柱頭部では、プレキャスト化を行い、施工目地にコンクリートを加圧注入するための型枠を設置した。プレキャスト製作工場で作られる柱は高さが変わるが、フーチング部へのジベルの埋込み長さは一定とし



図 - 4 下部構造ユニット施工状況

た。高橋脚における柱のセグメントは最大重量 180 t、高さ 12 m となるため、水平に倒して製作され、現場への運搬、設置まで工場で作置きされた。

主径間におけるプレキャストコンクリートの 4 橋脚では、複数の接合部を有する。橋脚および基礎の規模は本プロジェクトにおいて最大となるため、主径間のユニットの寸法と積載能力を考慮し、柱部材を 2 分割とすることとした。さらに、側道と車道との間にバスケットハンドル型鋼製タイドアーチを施工可能な上部構造形式に選定したことにより、橋軸直角方向の橋脚間隔が変化するため、高橋脚の施工においては、現場継手工法として機

械式継手工法を使用した。

左右の柱部材の設置はフーチング上で橋軸直角方向に平行移動させるため、柱およびフーチングの形状と型枠の変更は行わずに、継手を増やすことで橋脚幅を調整した。柱およびフーチングのプレキャスト部材は合計約 196 t であったため、橋脚基礎部は現場打ちとしたが、基礎部が標準形状であったため、一定の型枠での製作が可能となった。

9. 実物大模型試験

本プロジェクトでは、提案した接合部の性能確認および厳しい据付け精度を満たすために、プレキャスト部材の製作および架設における実物大模型試験を実施することが計画に盛り込まれていた。大規模な実物大模型の製作は、提案した接合部の詳細や施工手順（接合部に空隙を作らない）を確認するために必要不可欠であった。実物大模型は、完成時の構造を再現するために、全種類のセグメントとこれに対応する接合部の形状で製作された。実施工では、試験結果に基づき、見直しを行った施工手順を採用した。

実物大模型の再現性を検証するために、各柱のセグメントを 2 つ以上に分割した。柱とフーチングの接合部では、見直しを行った施工手順で行えば、空隙を作ることなく施工が可能となった。また、杭とフーチングの接合部では、1 回目の実物大模型試験で満足できる結果となり、高品質が得られたが、柱のグラウトを含む接合部では 2 回目の試験で満足できる結果となった。これらの試験結果に基づいた工程の改善は、より高品質な現場施工への改善に役立てることができたうえ、発注者の承認も得られた。また、この試験結果をセグメントの製作前におおむね反映することができた。

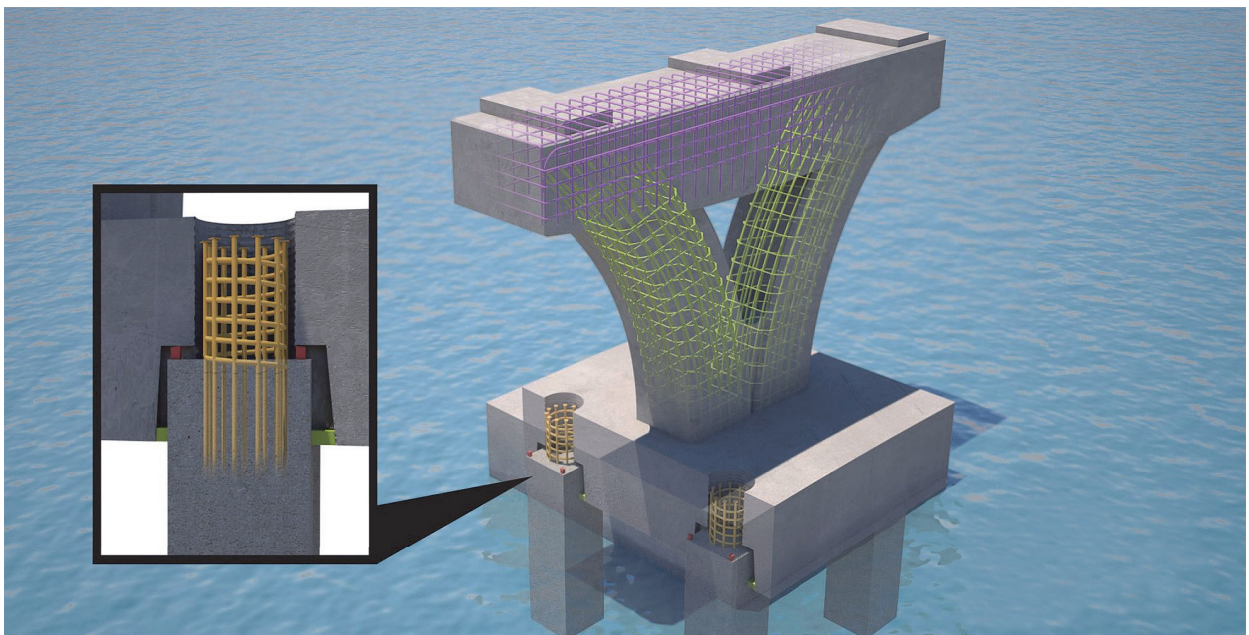


図 - 5 杭頭接合部概要図

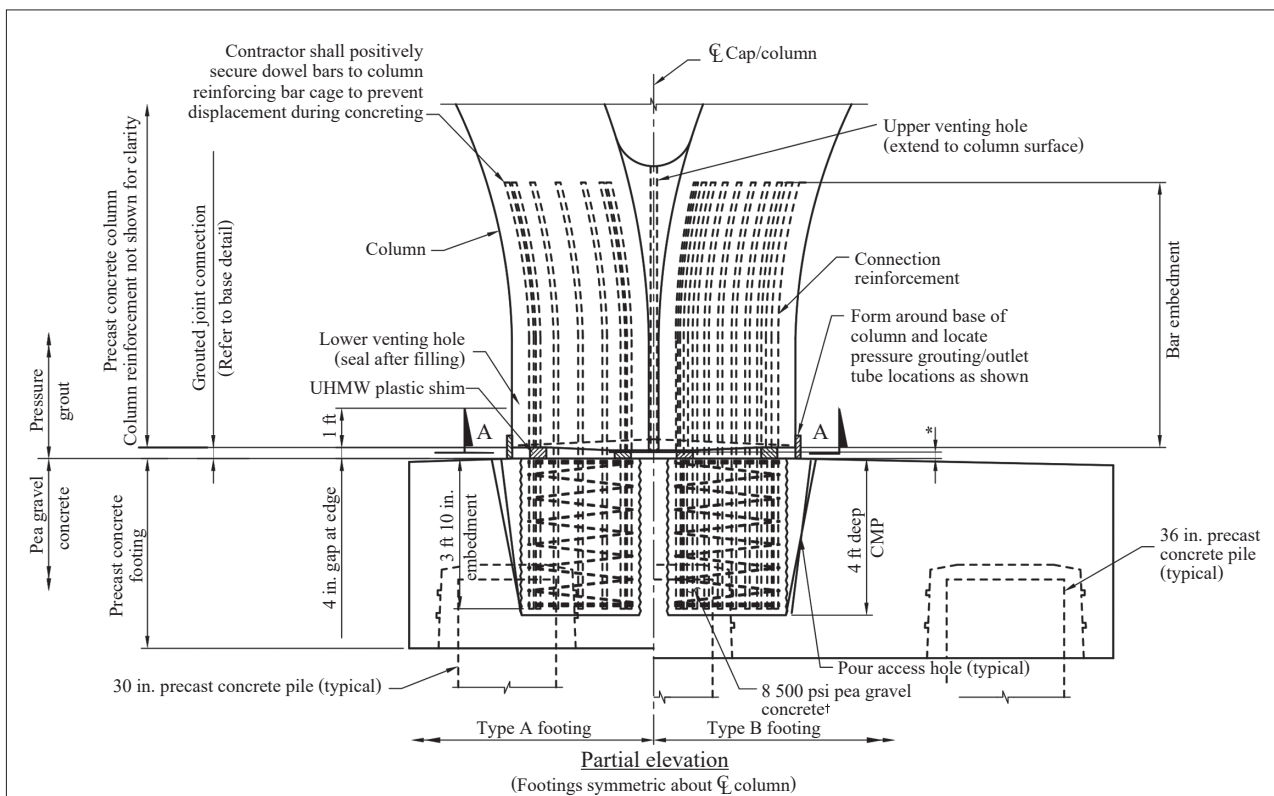


図 - 6 柱接合部概要図

10. 上部構造

橋梁全体に渡って分離した側道橋を支持するために、2種類の異なる上部構造が採用された。車道橋の幅員 18 m、側道橋の幅員 3 m を標準断面とする PC 桁は、現場の過酷な環境において好材料であった。アプローチ部のスパンでは、CIP 床版を有するプレキャスト PC 桁を車道橋の上部構造に、2 主桁の標準桁を歩道橋に採用した。主径間では、橋脚間隔を 114 m とする制約条件があったため、上部構造に鋼製タイドアーチを有する連続鉄桁を採用した。

代表的なアプローチ部の径間では、桁高 1.8 m の I 桁 (FIB72s) の 5 主桁で主桁間隔 3.82 m、支間長が約 46 m がもっとも経済的で、既存の杭基礎からのクリアランスを確保できることがわかった。前編で示したように、上部構造に作用する船舶の衝撃や波浪による荷重はせん断キーを介して伝達される。一般的にせん断キーから端支点横桁を介して床版に伝達される。工費を削減するだけでなく、建設工事を工期短縮させるために、端支点横桁を使用しないで、端部の床版を増厚して対応した。したがって、下部構造から床版に必要な横方向の力を伝達させるために、端部の部材が厚い桁を選定した。端支点横桁厚は、船舶の衝撃モデルから得られるせん断力の分布によって決定され、桁長は現地条件に合わせて製作時に調整した。

この主桁の配列に合わせるために、標準形状を変更した桁高 1.4 m の I 桁の形状を 2 分割にし、図 - 7 のようにギリシャ文字 π のような形状をした効率的な 2 脚の桁を

製作した。上フランジには床版表面に高さ 0.53 m の壁高欄を付けて一体化させた。打設後の主桁重量は約 200 t あり、橋脚に小さなリンクスラブ閉合部を設けることで側道橋を単一部材で施工することが可能となる。桁端部におけるひび割れ、フランジのひずみ、およびリンクスラブを支持する上フランジの欠損を防ぐために、横桁厚 0.5 m の端支点横桁の打設を行った。主桁はパイプレータおよび特注の床版仕上げ器具が一体型となった製作台で製作された。幅広い部材を収容するために、端支点横桁に障壁を設けることにより中央油圧ジャッキおよびストラットを区間内に配置することができた。

11. 海峡上の径間

ペンサコーラベイブリッジの主な特徴は、海運海峡上に橋長 114 m、高さ 23 m のバスケットハンドル型鋼製タイドアーチで構成されていることである。沿岸地域から目立った外観にするために、タイ部材や部材サイズは意匠的な設計を行い選定され、すべての部材を昇降梯子や開口部で検査可能なようにした。アーチの吊材は、4 本の高密度ポリエチレン被覆ストランド (亜鉛メッキ仕様の 7 本より鋼線) で構成された斜材ケーブルを使用している。この構造では必要に応じて耐用年数おきに取り替えやすいように透明ワックスを使用している。斜材ケーブルの定着部には、タイボックス内側に設けられた定着リブにクレビスが使用されているのが特徴である。

FDOT の指示により、想定される風荷重の条件を正確に把握し、供用中の安定性を担保するために、アーチ床版構造の断面モデルを用いてウェスタンオンタリオ大学の



図 - 7 π 型形状の標準桁の仮置き状況

境界層風洞研究所で試験が実施された。動的有限要素モデルや柔構造を対象とした ACSE 7 の風荷重の手順による静的解析を実施したが、解析では設計基準風速における不安定性と初期予測値に迫る風圧は確認されなかった。

主径間に隣接する 69 m の区間は、桁高一定の鈹桁と CIP 床版で構成されている。桁高は 4 m 一定であり、車道橋では腐食環境から保護するために金属溶射や上塗り塗装が実施された。北米で唯一の鋼橋における最大プロジェクトとして、表面処理や穴開け加工などに必要となる作業を円滑に進めるためには、鋼桁製作者と鋼加工業者が協働する必要があった。

12. 視覚化

橋梁の美観性と地域住民に理解を得ることを重視する中で、3D レンダリングと BIM 技術の統合は、設計段階で大きな役割を果たした。第一に、プロジェクトの概念的かつ構造設計的なテーマを示し、構造技術者とグラフィックアーティストとの協働を通じた費用対効果、美観快適性と維持可能な機能の向上の検討に寄与した。次に、概念的なプロセスが承認されると、デザインビルドチームは、視覚化とレンダリングを使用して、設計打合せ、ウェブサイト、および公開展示に使用する、施工順序やフライスルービデオ、立体的な情報の入ったパンフレットを作成した。

視覚化を行うことで、特殊な橋梁概要に対する地域住民の理解が得られ、デザインビルドチームは FDOT の承認を容易に取得し、今後の交通量の変動を含む施工過程を地域住民に伝えることができた。レンダリングの視覚

化が十分に行われると、構造物の主要部分約 460 m における 3-D モデルは 1/220 のスケールで印刷され、組み立てられた。このモデルは、プロジェクトの特徴を紹介するために FDOT の設計打合せや事務所の展示場で使用された。

13. 結 論

FDOT がデザインビルド方式で発注したペンサコーラベイブリッジ建設プロジェクトでは、Skanska と WSP の設計チームが急速施工技术と革新的なプレキャストコンクリートの設計を取り入れることで、大幅に工期短縮できる効率的なシステムを構築することができた。設計者と施工者の綿密な調整を通じて、ペンサコーラ湾上の国道 98 号線の建設計画を行ったことで、付加価値を一般利用者に付与し、短期間で 6 車線化を行うことを可能にした。

This article was first issued in PCI Journal (Precast Concrete Institute Journal), 2018, Nov-Dec, page 45-54

* : 会誌編集委員会海外部会委員
堀田 尚史 (首都高速道路 (株))
渡邊 秀知 (株)ピーエス三菱)
佐藤 千鶴 (株)銭高組)
田中 慎也 (株)IHI インフラ建設)
森田 遼 (鹿島建設 (株))

【2020 年 2 月 27 日受付】