

## フーバーダムバイパス コロラドリバー橋の施工 (その2)

(株)大林組	正会員	工学	○高德	裕平
(株)大林組	正会員	工博		加藤 敏明
(株)大林組	正会員	工修		新倉 一郎
(株)ピーエス三菱	正会員	工学		隠塚功一郎

## 1. はじめに

U.S. Highway 93(US93) はアリゾナ州、ネバダ州とユタ州を通る商業上重要な交通ルートであり、北米自由貿易協定においてメキシコ・カナダ間を結ぶ主要幹線道路と位置付けられている。US93は、アリゾナ州とネバダ州の州境において、フーバーダムの堤体上を通過していたが、ダム観光客の道路横断や低い法定速度によって頻繁に発生する交通渋滞が問題となっていた。このダム周辺の交通事情を改善に加え、ダム本体へのテロ対策という安全保障を目的として、ダム上を通過しない迂回道路を建設する全長5.6kmのフーバーダムバイパスプロジェクトが計画された。本橋建設に関する検討は1972年から始まっており、迂回ルートの選定、環境への影響評価、橋梁形式の決定等、様々な検討が行われてきた。最終的には、ダムとの調和を図るためにコンクリートアーチ橋として計画され、2本の並列するアーチリブ（ツインアーチリブ）を鋼製ストラットで連結することで、耐風性・耐震性の向上を図るなど、斬新な構造が用いられている。図-1に、工事施工場所を示す。

バイパス建設は2002年から開始され、2010年10月には全工事を完了、新しいフーバーダムバイパスが開通した。大林組・PSM-USA JVは、本バイパスのメインとなるコロラドリバー橋（正式名称：Mike O' Callaghan-Pat Tillman Memorial Bridge）を2005年1月から2010年8月にかけて建設した。アーチリブの施工、3次元解析による形状管理については、先に発表した第19回シンポジウム論文集<sup>1)</sup>を参考にして頂くこととし、本稿では、プレキャストセグメント工法を採用した橋脚柱の施工および鋼製ガーダー架設とコンクリート床版施工から成る上部工の施工に焦点を当てて報告する。

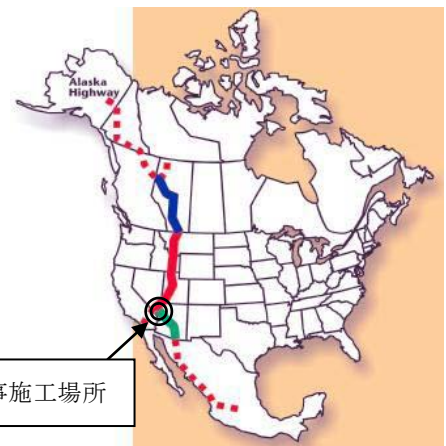


図-1 施工位置図

## 2. 工事概要

## 2.1 プロジェクト概要

コロラドリバー橋は、北米最長のアーチ支間323mを有するコンクリートアーチ橋で、フーバーダムの下流わずか460mの地点に位置する。フーバーダムは1936年に完成、アメリカ国定歴史建造物(U.S. National Historic Landmark)に指定される米国を代表する土木構造物であり、その貯水量400億トンは、日本のダムすべての貯水量を合わせても及ばない。また、このダムは、1年間に100万人以上の人々が訪れる観光名所でもある（写真-1）。施工中は、多くの観光客がダム上から本橋が出来上がっていく様子を眺めていた。

施工場所周辺の気候は砂漠性気候であり、夏期は連日摂氏40度を超える猛暑が続く上、湿度は10%程度と乾燥も激しく、非常に厳しい施工環境であった。工事を進める上で、とくに



写真-1 施工中のコロラドリバー橋

作業員の健康管理が重要であった。また、工事施工場所はフーバーダム近辺の環境保護区域内となっており、施工に際しては近隣に生息する希少動植物種の保全協力も行った。その一例として、新規入場者に対してはTurtle/Bighorn Sheep Trainingと呼ばれる環境に対する教育を実施した(写真-2)。

## 2.2 橋梁概要

橋梁一般図を図-2に示す。本工事での施工区間は、支間323mのアーチ部を含む、全長578mの橋梁部であり、中央のアーチ部を挟み、ネバダ州側5径間、アリゾナ州側2径間のアプローチ部にて構成される。2本のリブが並列するツインリブ構造の上路式固定アーチで、アーチ架設中に鋼製ストラットにてリブの連結を行った。橋脚は、高さ4mから87mのプレキャストセグメント製であり、基礎は直接基礎である。上部工は、鋼製箱桁を用いた鋼とコンクリートの複合構造である。急峻な渓谷にあわせて、アーチスパンとライズを決定し、複合構造を上部工に採用することで軽量化を図り、スリムな高橋脚とすることで、軽快な景観設計を創り出している。本橋の幅員は26.8mで、上下各2車線、計4車線の車道と、ダム側には幅2mの歩道が整備され、橋梁上からフーバーダムを眼下に眺望できる。

## 2.3 施工手順と使用機械

本工事の施工手順は、次のとおりである。(1)発破による岩掘削、(2)基礎およびアプローチ部の橋脚、上部工施工、(3)アプローチ部床版上に仮設ピロン柱を設置、アーチ部の張出し施工、(4)アーチ施工完了後、仮設ピロン柱と斜材ケーブル撤去、(5)アーチ上の橋脚と上部工施工。

使用機械としては、周辺の地形を考慮し、荷役運搬用機械としてケーブルクレーンを採用した。本橋で使用したケーブルクレーンは、独立1本柱形式であり、タワー基部がピン構造となっている。このタワーをアリゾナ州側とネバダ州側にそれぞれ2本ずつ、計4本配置し、2ラインのケーブルクレーンを配置した。タワー間距離は760m、タワー高さ101m、最大吊り荷重は45トンである。横方向の吊り荷の移動は、ラフティングというタワーを横方向に傾ける動きにて対応した。断崖絶壁に囲まれた当現場では、このケーブルクレーンは、資機材の運搬だけでなく、作業員の現場へのアクセスにも使用する工事の生命線となる重要な機械設備であった。



写真-2 現場付近に生息するBighorn Sheepと環境教育終了後に配布される証明ステッカー

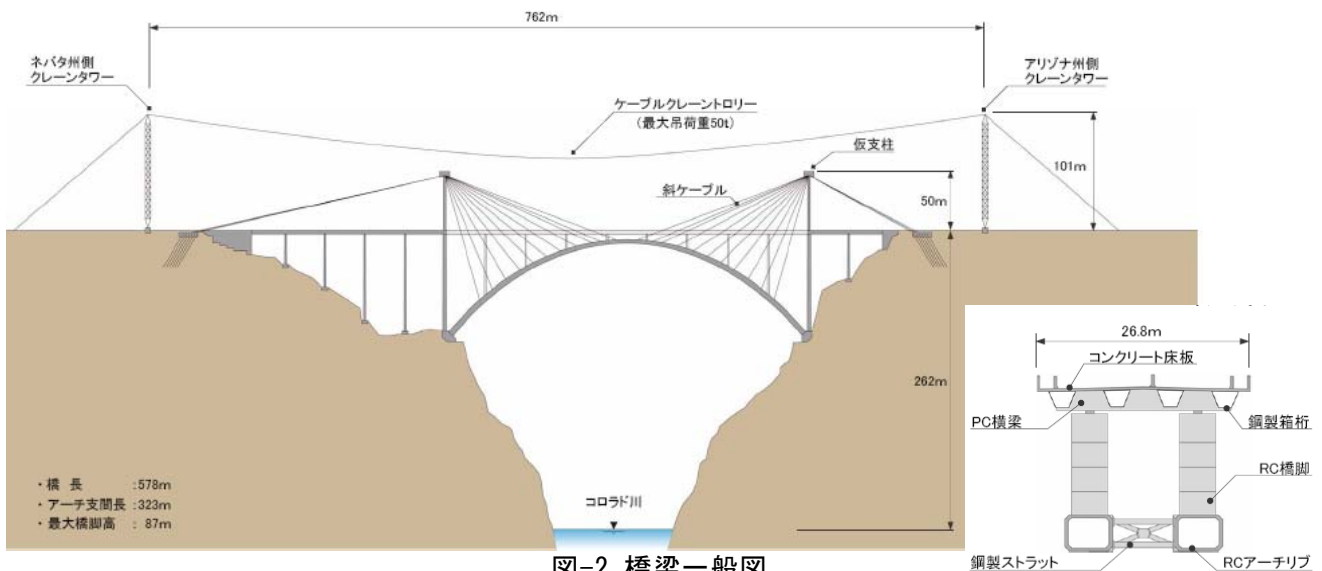


図-2 橋梁一般図

### 3. 施工概要

#### 3.1 プレキャストセグメント橋脚柱の施工

本橋の橋脚柱は、プレキャストセグメント製であり、コンクリート強度は40N/mm<sup>2</sup>である。セグメント寸法は、基本高さ3m、横幅4.6m、縦幅1.5m～3.6m、重量は最大40トンである。セグメントの製作はショートラインマッチキャスト工法を採用し、マッチキャスト面には300mm×200mm×深さ30mmのせん断キーを12～14箇所配置した。プレキャストヤード(敷地面積40,000m<sup>2</sup>)は、現場から車で約30分、20kmの距離に位置し、ヤード内にセグメント製作ラインを3ライン設け、その他、養生ヤード、仮置きヤードを併設し、橋脚用セグメント全440個、また橋脚同様にプレキャストセグメント製である仮設ピロン柱用セグメント68個の製作を行った。写真-3にプレキャストヤードの全景写真を示す。最盛期には1日につき1ライン1セグメント、合計3セグメント/日の製作を行った。セグメントは、コンクリート打設後、1週間の湿潤養生を行い、仮置きヤードへと移設した。ヤードでのセグメント荷吊り用に50トン門型クレーンを常駐させた。



写真-3 プレキャストヤード全景

現場でのプレキャストセグメントの架設は、ケーブルクレーンにて行った。個々のセグメントは、各接合面にエポキシ樹脂を塗布し、PC鋼棒にて連結・緊張固定される。橋脚セグメントの架設状況を写真-4に示す。



写真-4 セグメント架設状況

アーチ上に架設するプレキャストセグメントの形状管理は、アーチ施工と同様に3次元解析にて算出したデータを元に管理を行った。図-3に3次元解析モデルを示す。アーチ上での架設では、鉛直方向のたわみだけでなく、橋軸方向への変位にも注意が必要であった。特記仕様書によるプレキャストセグメント架設時の許容値は、(1)天端での設計値との誤差が、橋脚高さH/1200以内、かつ、(2)セグメントの折れ角度0.003ラジアン以下、である。架設時には、既設のセグメントにプリズムを設置し、トータルステーションにて、その挙動を確認した。プレキャストセグメントのため、基本的にはヤードで製作管理したとおりの形状となったが、場合によっては鋼製シムを使用し、形状を補正する必要が生じた。鋼製シムは、1.5mmと3.0mmのメッシュ製で、最大6mmまでの使用とした。



写真-5 柱頭部

$$EV_{AP} = \frac{1 + 0.2374WV}{2906} \left[ CT^2 - 4.762CT + 220.8 - RH \cdot \left( \frac{AT^3 + 127.8AT^2 + 665.6AT + 34283}{20415} \right) \right]$$

WV : 風速(km/h)

RH : 相対湿度(%)

AT : 気温(°C)

CT : コンクリート温度(°C)

式-1 水分蒸発速度計算式

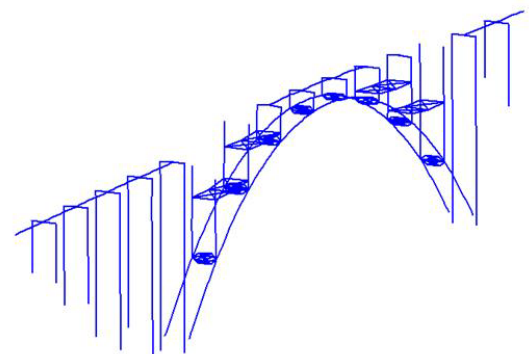


図-3 3次元解析モデル



### 3.2 上部工施工

上部工は、鋼とコンクリートの複合構造である。橋脚架設完了後、場所打ちコンクリートの柱頭部を施工し（写真-5）、U型の鋼製ガーダーを橋脚間に配置する構造であり、橋軸直角方向には4連の桁が配置される。ケーブルクレーンで所定の位置に架設後、1ガーダーあたり16本のPC鋼棒にて柱頭部に連結した。ガーダー重量は最大45トン、長さは約35mである。写真-6にケーブルクレーンによるガーダー架設状況を示す。

床版は厚さ240mmの場所打ちコンクリート（設計基準強度 $30\text{N/mm}^2$ ）で、初期収縮ひび割れ防止のため、ポリプロピレン繊維を混入した。床版型枠には垂鉛めっきを施した埋設型枠を使用し、作業の省力化を図った（写真-7）。

床版コンクリートの施工で最も注意しなければいけなかったのが、乾燥である。現場は、砂漠性気候の乾燥地帯であるため、式-1にて定義されるコンクリート打設時の水分蒸発速度を $0.49\text{kg/m}^2/\text{h}$ 以下と制限する必要があった。例えば、風速 $10\text{km/hr}$ 、相対湿度 $10\%$ 、気温 $25^\circ\text{C}$ の場合、コンクリート温度を $17^\circ\text{C}$ 以下とする必要がある。そこで、コンクリート打設箇所にドライミストを設置し、相対湿度を高めることで、制限を緩和させる対策をとった。さらに、養生として、コンクリート打設時の養生材散布に加え、1週間の散水養生も実施した。

また、床版コンクリート天端が車両走行面となるため、橋面の平坦性の確保が重要であった。そこで、打設時には床版仕上げ機械による表面仕上げを行い（写真-8）、床版施工完了後、Profilographと呼ばれる平坦性試験を実施し、基準に適合していることを確認した（写真-9）。

### 4. おわりに

2010年8月コロラドリバー橋が完成、同年10月には、フーバーダムバイパスが開通した。橋面上に整備された歩道には終日多くの人々が訪れており、本橋は既に新しい観光名所となっている。なお、本工事は2010年「第8回産学官連携功労者表彰 国土交通大臣賞」を受賞しました。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献：

- 1) 鋼製ストラット付きコンクリートツインアーチ橋の施工：第19回シンポジウム論文集
- 2) Construction of the Hoover Dam Bypass Arch Bridge : The Third International fib congress and Exhibition 2010. May 29-June 2



写真-6 鋼製ガーダー架設状況



写真-7 床版埋設型枠設置状況



写真-8 床版コンクリート打設状況



写真-9 橋面平坦性試験