

とくのやまはっとくはし 徳之山八徳橋の施工

胡 信弘^{*1}・田中 太郎^{*2}・荏原 広幸^{*3}・佐橋 裕隆^{*4}

1. はじめに

徳之山八徳橋は、岐阜県の揖斐川上流に位置する徳山ダムの建設に伴い一部水没する国道 417 号線の付替事業（総延長：約 18.8 km）の一環として計画されたダム湖の兩岸を跨ぐ横断橋である（写真 - 1）。



写真 - 1 徳之山八徳橋の全景

本橋は、主桁構造がプレストレストコンクリートのみで構成されるエクストラードード橋としては世界最大の支間長（220 m）を有する。架橋地点は急峻な V 字谷地形であり、河床から計画路面までの高さは 130 m に及び、両橋脚の高さは国内有数である。平成 18 年秋よりダムの貯水が開始され、湛水後には、常時満水位で橋脚部約 100 m のうち 9 割程度が水没する。

また、架橋地点の周辺は種々の動植物が生息する豊かな自然環境に恵まれており、上部工工事が自然環境に与える影響を可能なかぎり回避・低減することを目的として入札時 VE 方式が適用された。

本文では、これらの工期短縮に向けた取組みを中心に、特徴的な施工について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の主要諸元は以下のとおりである。

工 事 名：徳山ダム国道付替 6 号橋上部工工事
発 注 者：独立行政法人 水資源機構
道路規格：第 3 種第 4 級（設計速度：50 km/h）

活 荷 重：B 活荷重

橋梁形式：3 径間連続 PC エクストラードード橋

橋 長：503.0 m

支 間 長：139.7 m + 220.0 m + 139.7 m

有効幅員：7.0 m（車道）

平面線形： $R = \infty$

縦断勾配：2.5 % ～ - 2.5 %

横断勾配：両勾配 1.5 %

主桁形式：1 室 PC 床版箱桁（桁高：6.5 m ～ 3.5 m）

主塔形式：独立 2 本 RC 構造

塔頂固定方式：貫通固定（サドル）方式

ケーブル形式：ファン形式 2 面吊り（11 段）

橋脚柱形式：RC 中空柱式

橋 脚 高：98.0 m（P1）、101.0 m（P2）

図 - 1 に一般図を、表 - 1 に使用材料を示す。

表 - 1 使用材料

項 目	細 目	仕 様
コンクリート	主 桁	$\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$
	主 塔	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
鉄 筋	主 桁	SD 345, SD 685 相当
	主 塔	SD 345
PC 鋼材	斜 材	27S15.2（SWPR7B）
	縦縮め	12S12.7（SWPR7B）
	縦縮め	$\phi 32$ （SBPR930 / 1180）
	横縮め	1S28.6（SWPR19）

3. VE 提 案

3.1 入札時 VE 提案

本工事は、入札時に上部工施工期間の短縮提案を受け、価格とそれ以外の要素を総合的に評価して落札者を決定する入札時 VE 方式（総合評価落札方式）が適用された。本工事で採用された入札時 VE 提案は、以下に列举する 3 項目であり、62 日間の工期短縮を図るものである。

表 - 2 に発注時に想定された一般的な施工方法（標準案）と VE 提案の比較概要を示す。

（1）超大型移動作業車による片持ち張出し施工

片持ち張出し施工では、作業能力 8 000 kN・m 級の超大型移動作業車を使用した。これにより施工ブロック数を 31 ブロックから 15 ブロックに削減し、施工期間の短縮を図った。

^{*1} Nobuhiro EBISU：オリエンタル建設（株）・川田建設（株）・昭和コンクリート工業（株）特定建設工事共同企業体 所長

^{*2} Taro TANAKA：オリエンタル建設（株）・川田建設（株）・昭和コンクリート工業（株）特定建設工事共同企業体 副所長

^{*3} Hiroyuki EHARA：オリエンタル建設（株）・川田建設（株）・昭和コンクリート工業（株）特定建設工事共同企業体 工事課長

^{*4} Hirotaka SAHASHI：オリエンタル建設（株）・川田建設（株）・昭和コンクリート工業（株）特定建設工事共同企業体 現場代理人

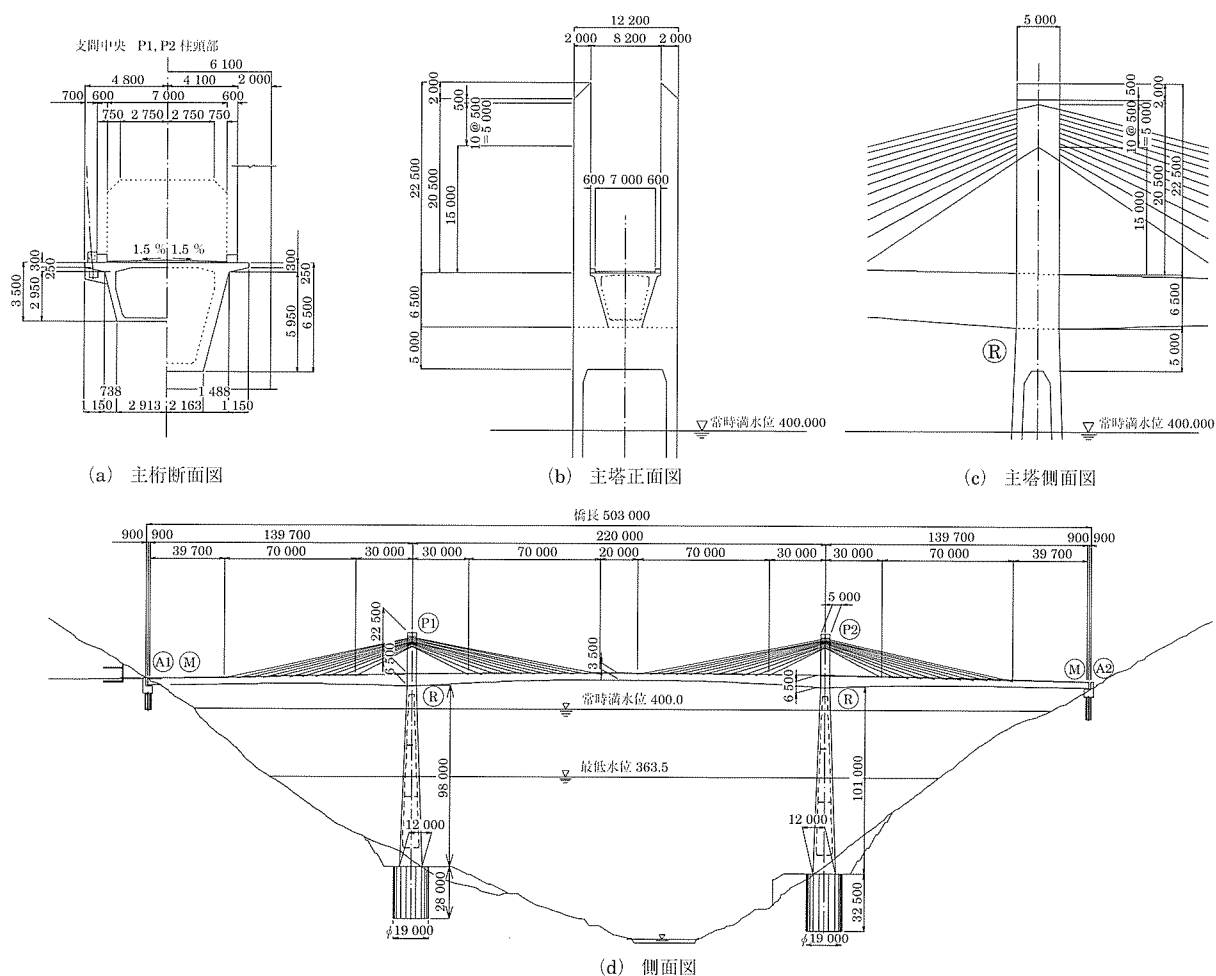


図 - 1 徳之山八徳橋の一般図

表 - 2 標準案と VE 提案の比較概要

	単位	標準案	VE 提案
張出し施工ブロック長	m	2.5 ~ 4.0	5.5 ~ 7.0
張出し施工ブロック数	個	31	15
移動作業車	kN・m	2 000	8 000
側径間場所打ち部 施工延長	m	32	26 (+ 7)
主塔部主鉄筋	継手方式	ガス圧接	機械継手

注) () 内は閉合部ブロック長

図 - 2 にブロック割りの変更図 (側径間・中央径間共通) を示す。標準案においては、斜材定着ブロックと標準ブロックを交互に施工しなければならず、型枠の組替え、斜材定着部の鉄筋組立て等の作業が 9 ブロックから 30 ブロックにわたり不連続に発生することとなる。VE 提案では、張出し施工ブロック長を最大 7.0 m とすることで、型枠組替えを最小限に抑え、斜材定着ブロックの連続的な施工も可能となる。

(2) 側径間部の先行施工

側径間場所打ち部 33 m のうち、26 m を張出し施工完了までに先行して施工し、張出し施工終了後に超大型移動作業車を前進させ、型枠設備および下段作業台を吊り支保工として転用し、施工済み側径間部との閉合を行うことで、

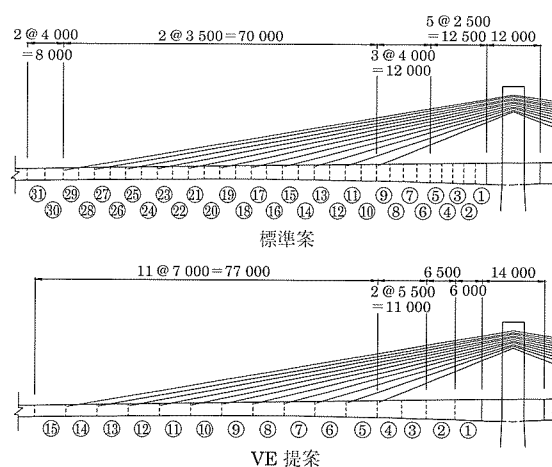


図 - 2 ブロック割りの変更

上部工全体施工期間の短縮を図る。図 - 3 に側径間部の閉合要領図を示す。

(3) 主塔部主鉄筋の機械継手化

主塔工の施工では、主桁施工期間の短縮に伴い、張出し施工が斜材定着ブロックに到達するまでの間に、斜材が貫通するサドル体の配置される高さまで主塔を構築する必要

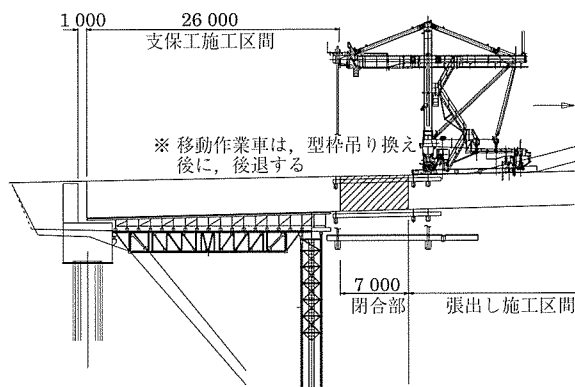


図-3 側径間部の閉合要領図

があり、主塔の施工期間を短縮する必要が生じた。そこで、主塔部主鉄筋（D 51）の継手方式に天候等に左右されない機械継手を採用することで、張出し施工工程に影響を与えず、遅滞のない斜材緊張を可能にした。

4. 施 工

4.1 柱頭部の施工

柱頭部は、脚頭部に PC 鋼棒で緊張固定した鋼製ブラケット式支保工施工とし、コンクリート打設量・主塔鉄筋の建込みおよび工程面から打設高さを決定したうえで、2 回に分割して施工を行った。

コンクリートの打設においては、桁高が 6.5 m と高く、断面形状が斜めウェブを有していることから、幅の狭いウェブにコンクリートを打設する際の材料分離が懸念された。そこで、ウェブ内にあらかじめトレミー管を設置し、コンクリートの落下高さを抑える施工方法とした。なお、張出し施工区間においても同様のコンクリート打設方法を採用した。

柱頭部は、1 回目の打設量が 160 m³、2 回目の打設量が 345 m³ で、マスコンクリートとなることから、普通コンクリートを使用した。とくに横桁部においては、温度応力によるひび割れの発生が懸念されることから、ブロック割りの変更および打設高さを考慮した温度応力解析を行った。施工においては、さらなる有害なひび割れの発生を抑制することを目的に、箱桁内表面の補強鉄筋の配置と型枠存置期間を長くする対策を行った。

4.2 片持ち張出し施工

張出し架設は、2 フレームの超大型移動作業車を各橋脚 2 基ずつ使用しサイクル施工を行うことで、工期の大幅な短縮が可能となる。しかし、雨・風等気象条件の厳しい地域であり冬季には相当量の積雪も予想され、作業効率の低下が懸念されたことから、VE 工程の遅延を回避するため、

張出し施工サイクルの短縮と品質の確保を目的とした下記の対策を実施した。

(1) ウェブ鉄筋のプレファブ化

コンクリート打設・養生および緊張作業の工程と平行して、ウェブ鉄筋（スターラップ、配力筋、小口型枠）を橋脚下のヤードにて組立ててプレファブ化し、プレファブユニットを一括で吊り上げ、橋面上を運搬し型枠内に架設して作業の効率化を図った。写真-2 にウェブ鉄筋地組状況、写真-3 にウェブ鉄筋架設状況を示す。

(2) コンクリートの配合

主桁コンクリートは、高性能 AE 減水剤を用いて単位水量を抑え、スランプ保持性能を高めた配合とし、高橋脚および張出し施工長の長距離圧送に伴うスランプロスや補強鉄筋が密に配置される斜材定着突起への充てん性に配慮して、スランプを 18 cm に設定した。表-3 にコンクリートの示方配合を示す。

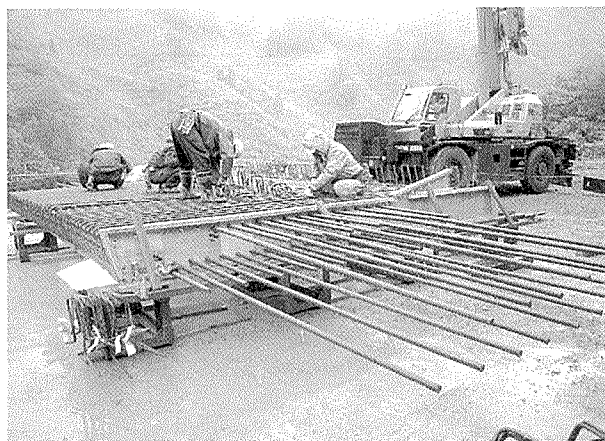


写真-2 ウェブ鉄筋地組状況

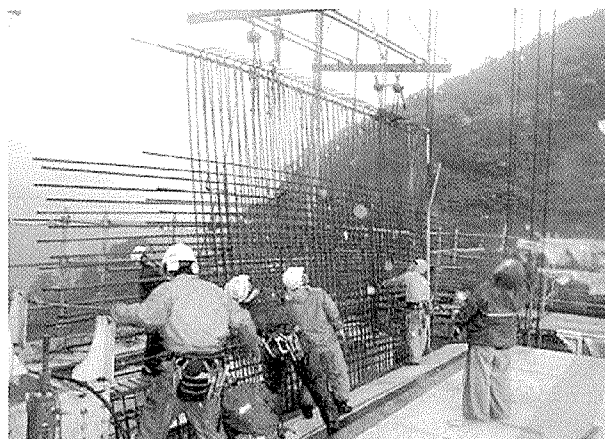


写真-3 ウェブ鉄筋架設状況

表-3 コンクリートの示方配合

使用部位	呼び強度 およびセメント種別	最大骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 SP
主 桁	50 H (50 N)	25	18 ± 2.5	37	4.5 ± 1.5	42	150	405	739	1 039	3.240

注) () 内 N は、柱頭部および側径間場所打ち部で使用

(3) 温度追随養生

主桁に使用する高強度コンクリート ($\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$) は、部材厚さが比較的薄くても水和に伴う発熱は大きく、コンクリート温度が上昇する。このため、プレストレス導入時のような初期材齢における圧縮強度管理用供試体の養生は、従来のような構造体と同一養生下（現場養生）では構造物本体の圧縮強度発現状態を適切に評価できない。これは供試体自体が小さく自己発熱では熱量が不十分で、コンクリート温度が実際の構造物本体より低くなってしまい、供試体の圧縮強度が低くなるためである。上記をふまえ、プレストレス導入時の圧縮強度確認用供試体を、以下の方法で簡易的に温度追随養生した。

- ・上床版のコンクリート打込み時に供試体を4本採取し、1本は熱電対を埋込み、養生時の温度を測定した。
- ・張出し床版先端部にも熱電対を埋込みコンクリート温度を測定した。張出し床版先端部を構造物本体のサンプル位置としたのは、構造体の中で最後にコンクリートが打込まれることからプレストレス導入時期までの材齢が短く、初期材齢時の圧縮強度面でもっとも厳しい条件となることを考慮し、また、床版横締めケーブルが定着されるため、プレストレス導入時に必要とされるコンクリート強度を確認する必要から、管理手法が危険側にならないよう配慮したものである。
- ・コンクリートの凝結後に採取した供試体を張出し床版直上に置き、断熱材で覆うことで供試体温度が構造物本体の温度を上回らないよう配慮し、プレストレス導入前まで養生した。

図-4に簡易的な温度追随養生要領図、図-5にコンクリート打込みからの温度履歴グラフを示す。

4.3 主塔部の施工

主塔は、高さ2.0 m～5.6 mの5リフトに分割して施工を行い、主塔基部の150 mmは、型枠の掛かり部とするために、柱頭部施工時に構築した。3・4リフトは、斜材を貫通固定させるサドル部（押えブロック方式：図-6）を有している。サドル本体は、3分割にユニット化したものを工場製作し、現場における作業はクレーンによる据付けのみとすることで、サドル据付け精度の向上、現場作業の省力化を図った。写真-4にサドル体架設状況を示す。

また、1・2リフトでは、鉄骨鉄筋架台により鉄筋組立ての精度を向上させ、帯鉄筋をあらかじめ現場ヤードで組立てプレファブ化し、クレーンにて一括架設することにより現場作業を省力化した。写真-5に、プレファブ鉄筋架設

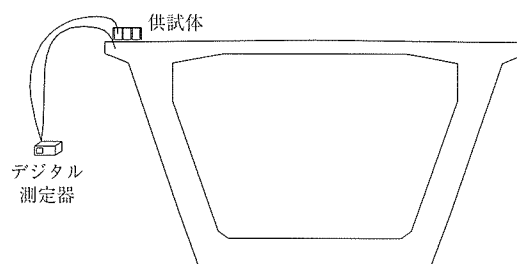


図-4 温度追随養生要領

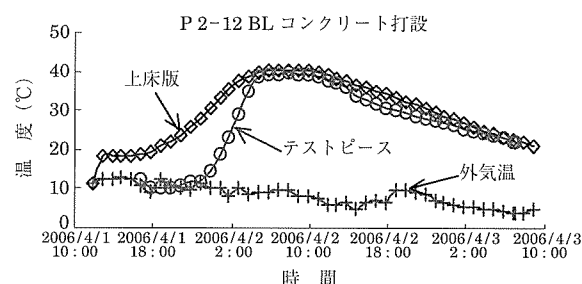


図-5 温度履歴

張力差の伝達機構：ストランド→グラウト→内管→押えブロック→アンカーボルト→主塔

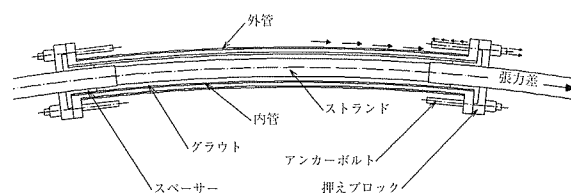


図-6 サドル部の張力伝達機構

状況を示す。型枠は梁材と鋼製パネルを一体化した大型鋼製型枠（写真-6）を使用し、太径セパレーター（PC鋼棒φ23）の採用により締付け箇所を減らすことで省力化を図った。

4.4 斜材部の施工

(1) 斜材の選定

斜材は、以下に示す事項より工場製作型ケーブルの「スーパーマルチケーブル（図-7）」を使用した。

・品質面

PC鋼より線に防食材充てん・被覆加工を完全に施し、外部を高密度ポリエチレン被覆しており、防錆性能に優

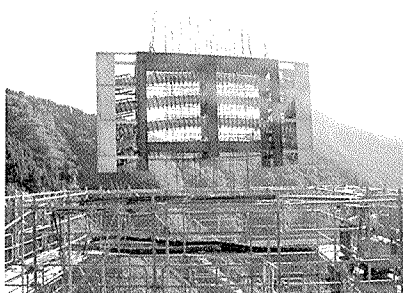


写真-4 サドルユニットの架設

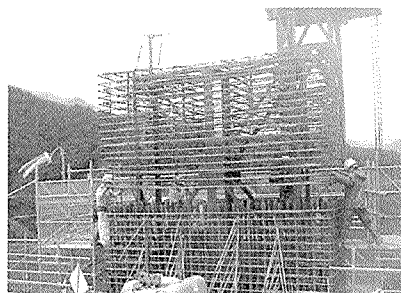


写真-5 プレファブ鉄筋設置状況

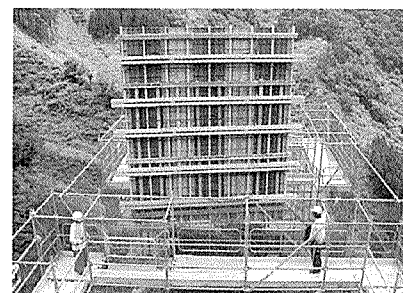


写真-6 梁式大型鋼製型枠

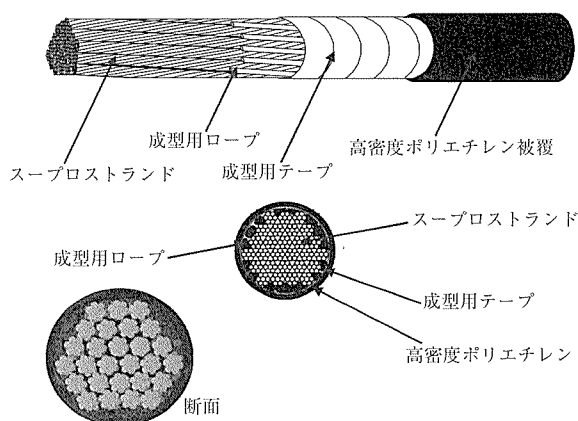


図-7 スープロマルチケーブル

れている。

・工程面

斜材の架設方法が現場のクレーンによる一括架設が可能で、斜材架設用の足場も不要となることから、現場作業を省力化でき、張出し施工サイクルに与える影響が小さい。

・安全面

県道および工事用道路上空での架設作業区間があり、足場等からの落下物・飛散物は許されない。

(2) 斜材定着管の据付け

斜材定着管は、将来的な交換を可能とした2重管構造の外ケーブルシステムとした(写真-7)。エクストラード橋の場合、斜張橋と比べて主桁剛性が大きいため、一般的には張出し施工段階での斜材の緊張で十分な施工精度を得られることから、設計上斜材の張力調整は行わない。斜材緊張時はウェッジで固定し、その後、内トランペット内をグラウトするものである。

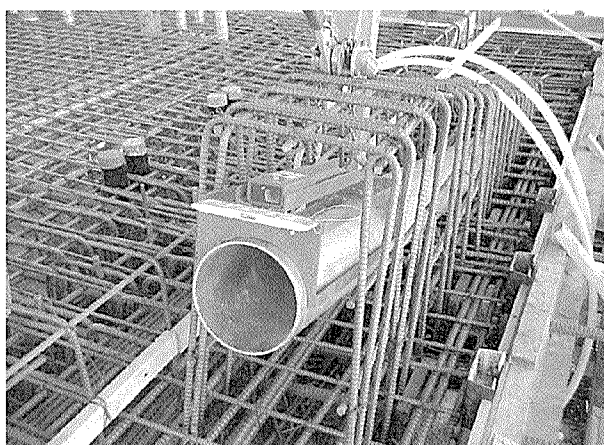


写真-7 斜材定着管据付け状況

(3) 斜材緊張

斜材は、主桁のねじり等に配慮し、4台のジャッキを設置して、2面吊り両側の斜材を同時に緊張した。緊張時期は、主桁張出し施工のサイクル工程を標準ブロック(斜材



写真-8 緊張作業状況

なし)と同様のサイクル工程で施工するため、斜材の架設および緊張がクリティカルにならないよう、移動作業車を移動し型枠セット後に行った。緊張管理は、摩擦係数(μ)による緊張力の損失影響が小さいことから、一般的な外ケーブルと同様とし、設計緊張力の導入を主管理とし、伸びは自由長部のサグの影響を含むため、計算値に対して±5%の管理目標値を定めて従管理とした。なお、緊張導入力の管理は、デジタル示度計を使用し正確な緊張力導入の管理を行った。

4.5 閉合部の施工

側径間閉合部は急峻な地形での施工となるため、移動作業車部材を吊り支保工部材として転用し、施工を行った。本橋では側径間を先行施工しており、閉合部施工時のたわみが側径間側ではほとんど発生せず、張出し施工側のみ発生することから、斜材温度差・床版温度差およびコンクリート打設によるたわみをコントロールし、高さ管理を行う必要があった。これらの課題に対し、以下の対処を行った。

- ・コンクリート打設を2回(下床版・ウェブと上床版)に分割し、変位の絶対量を低減した。
- ・コンクリート打設中に発生するたわみに対して、移動作業車を後退させて張出し先端のたわみを相殺し、つねに張出し先端高さを変化させないようコントロールした(図-8)。また、コンクリート打設開始を夕方から行い、斜材温度差による主桁たわみの回復(上がり)とコンクリート打設量に伴い発生するたわみを相殺することで、移動作業車の後退距離を短縮した。
- ・橋面上に養生マットおよび防災シートを敷設し、常時散水することで床版温度差によるたわみ変化を低減した。

上記の施工方法は、通常行われている既設コンクリートのたわみを大がかりなH鋼等により拘束する手法と比較し、橋体に必要以上に負荷の与えない施工方法といえる。

中央閉合部についても、移動作業車の部材および型枠材を転用して施工を行った。

4.6 後退装置

中央径間側の超大型移動作業車は、中央閉合後に橋脚付近まで後退させたのち下段作業台を降下させて解体した。2

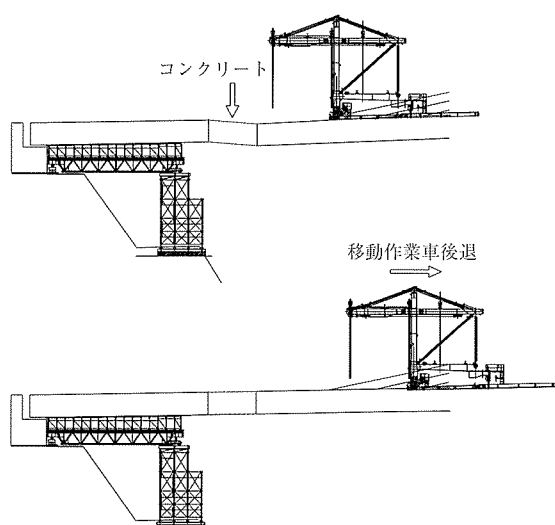


図-8 たわみ制御の概念図

面吊りの斜材が干渉するため、2 フレームの上部構造と吊り下げた下部構造を分割して後退させた。

下段作業台を後退するために、移動作業車用の埋込みアンカーを利用して橋体外側に軌条を設置し、U字型に組立てた後退装置(写真-9)を前進させ、上部構造から吊りかえ、橋脚付近まで後退し降下させて下段作業台を解体した。

5. おわりに

徳之山八徳橋は、急峻な地形、ダムの湛水に向けた工期短縮などの厳しい施工条件の下、基礎工工事、下部工工事、上部工工事と平成13年の着工以来およそ5年半の年月を経て完成した。

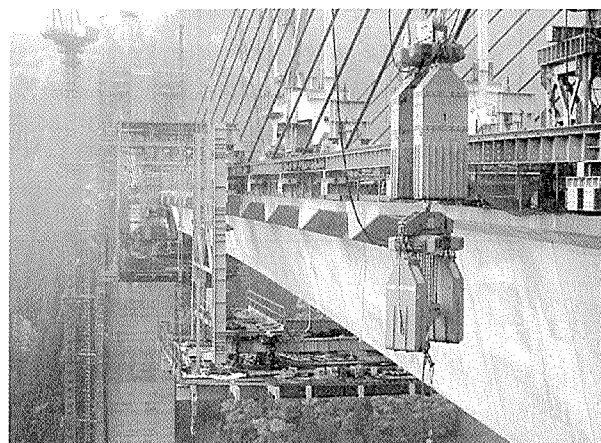


写真-9 後退装置

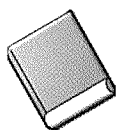
平成18年9月下旬に試験湛水が開始され、徳山ダムの湖面に本橋が映えるのも間近となりつつある。

最後に、本橋梁の着工より完成まで多大なるご指導、ご協力をいただいた水資源機構の皆様をはじめとする関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中須, 佐々木, 手塚, 鈴木: 高強度コンクリートにおけるテストピースの養生方法について, プレストレストコンクリート協会第9回シンポジウム論文集 pp.719-724 (1999.10)
- 2) 自閑, 宮川, 廣瀬, 鈴木, 重松, 大竹, 長谷川, 佐橋: 徳之山八徳橋上部工の設計と施工, 橋梁と基礎 pp.5-14 (2006.7)

【2006年10月24日受付】



新刊図書案内

National Report

— The Second *fib* Congress 2006 —
— Naples ITALY (英・和文併記) —
2006年5月

頒布価格: 会員特価 6 000 円 (送料 500 円)

: 非会員価格 7 200 円 (送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会