

七色高架橋（4・5・6号橋）の施工

— 急峻な山岳地での大型移動支保工の使用について —

水谷 公昭*1・高嶋 光俊*2

1. はじめに

奈良県は、1995年に策定した「奈良県新総合計画」の基本目標である“世界に光る奈良県づくり”を目指し、その実現に向けて2025年を目標に県内全域をおおむね2時間以内で移動できて半日で往来できる「なら・半日交通圏道路網構想」を定めて整備を進めている。

「七色高架橋」は五條新宮道路（国道168号、 $L \approx 130$ km）の奈良県最南端である吉野郡十津川村七色地内に位置し、上記の道路網構想のもとで、国道168号のシンボルブリッジとして計画された。本橋梁は十津川渓谷の緑に映えるランドマーク橋を目指して設計され、構造形式は山岳橋梁としては国内最大規模を誇る、多径間連続PC箱桁橋が採用された（写真-1）¹⁾。

本橋梁は全長で約1.7 km（1～7号橋）あるが、そのうち4・5・6号橋（ $L = 50 \text{ m} \times 16 \text{ 径間} = 800 \text{ m}$ ）の上部工を大型移動支保工架設工法で施工した。1径間50 mを施工する大型移動支保工は、全長109 m、総重量1 500 tという国内最大規模である。

周辺環境は急峻な山岳地のため施工全線の直下は作業空間の限られた急斜面であり、橋梁形状も平面線形や縦断勾配の変化に富んでいる。本稿は、過酷な条件に適應させた大型移動支保工の施工を中心に報告する。

2. 橋梁概要

七色高架橋の橋梁概要を以下に示す（構造形式以下では4・5・6号橋について示す）。また、図-1に施工位置図、図

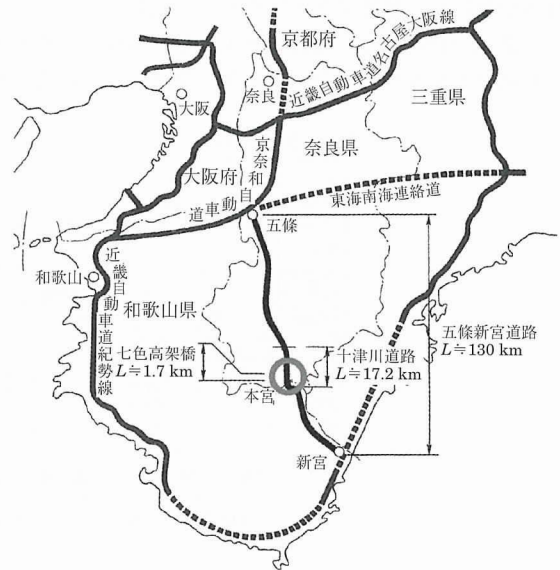


図-1 施工位置図

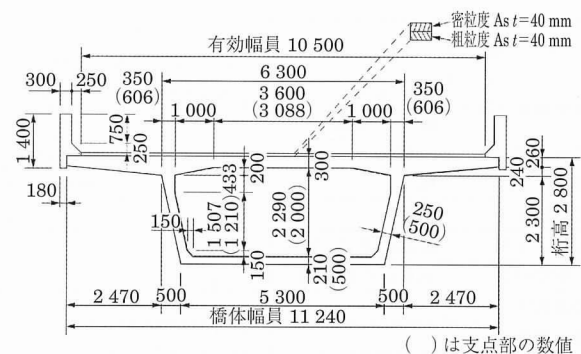


図-2 標準断面図



写真-1 七色高架橋の全景

-2に標準断面図、図-3に全体一般図、表-1に全体工程、および表-2に主要材料を記す。

- 工事名：一般国道168号道路改築工事（七色高架橋）
- 施工場所：奈良県吉野郡十津川村七色地内
- 設計荷重：B活荷重
- 道路規格：第3種第2級
- 設計速度： $V = 60 \text{ km/h}$
- 構造形式：4号橋；PC 5径間連続箱桁橋 $L = 250.0 \text{ m}$
- 5号橋；PC 5径間連続箱桁橋 $L = 250.0 \text{ m}$
- 6号橋；PC 6径間連続箱桁橋 $L = 300.0 \text{ m}$
- 工事延長：16径間 $\times 50.0 \text{ m} = 800.0 \text{ m}$

*1 Hiroaki MIZUTANI：大成建設(株) 土木設計部 橋梁技術設計室 次長

*2 Mitsutoshi TAKASHIMA：大成建設(株) 土木設計部 橋梁技術設計室 課長代理

○ 工事報告 ○

幅員：橋体幅員 11.24 m, 有効幅員 10.5 m
 〈幅員構成；1.25 (路肩) + 3.5 (車道)
 + 1.0 (中央帯) + 3.5 + 1.25 = 10.5 m〉

桁高：2.8 m

工期：2002年3月25日～2004年12月28日

本橋梁は十津川渓谷の急峻な斜面地という厳しい条件下で架設するため、奈良県は1996年度に「十津川道路景観検討委員会」(委員長：東京大学堀 繁教授)を設置して経済性や耐震性能、環境保全等を考慮した景観検討が行われた。

下部工の設計では、阪神大震災以降に強化された耐震性能の向上を図りつつ、コスト縮減や地形改変量の縮小を図

るためにさまざまな高強度材料の組合せが比較検討され、その実証実験(鉄筋の定着試験および模型化した橋脚の変形性能試験)が実施された。その結果、橋脚には高強度鉄筋SD490、および高強度コンクリート $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ が採用された^{2)～5)}。

上部工では、近接する現道への圧迫感を軽減するためにウェブにテーパーを付けた1室箱桁としたほか、PC鋼材は内ケーブルと外ケーブルの併用技法を採用することで、施工の合理化や自重の軽減、および品質・耐久性・経済性の向上が図られた(図-4)。

また、上部工の施工方法では、50 mを超える支間部を移

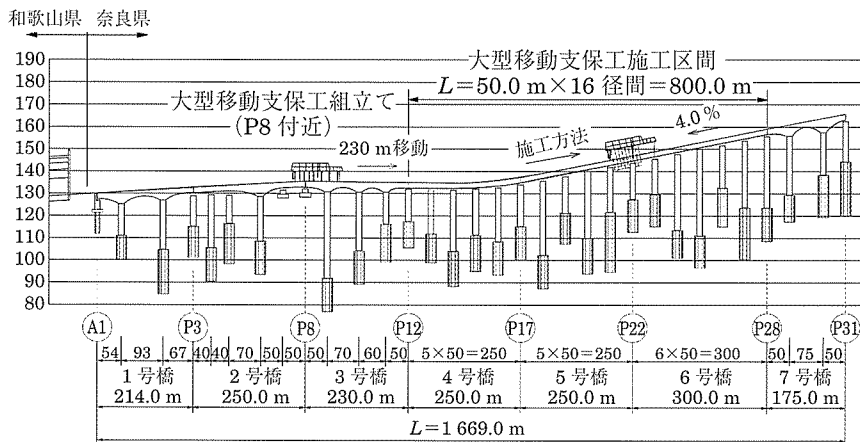


図-3 全体一般図

表-1 全体工程

工種	項目	2002年												2003年												2004年											
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
大型移動支保工	設計・製作	■																																			
	組立て・解体													■																							
脚頭部工	15橋脚													■																							
支承工	38基													■																							
柱頭部工	13箇所													■																							
仮ベント工	掛違部(P17, P22)													■																							
主桁製作工	50.0m x 16径間													■																							
壁高欄工																										■											
防水舗装工																										■											
あと片付け																										■											

表-2 主要材料

項目	数量	摘要
コンクリート	40-8-25 H	6114 m ³ 主桁・柱頭部
	24-8-25 BB	692 m ³ 壁高欄
	40-8-25 N	753 m ³ 脚頭部
鉄筋	SD345	968 t 主桁・柱頭部
	SD345	54 t 壁高欄
	SD345	76 t 脚頭部
PC鋼材	内ケーブル	12S12.7 65 t グラウトタイプ
	外ケーブル	19S15.2 137 t アンボンドマルチケーブル
	架設ケーブル	19S15.2 28 t 普通ケーブル
	横締めケーブル	1S28.6 56 t プレグラウトケーブル
	鉛直締め鋼棒	φ 32 5 t グラウトタイプ
ゴム支承	38基	水平力分散型
アスファルト合材	1584 t	t = 80 mm

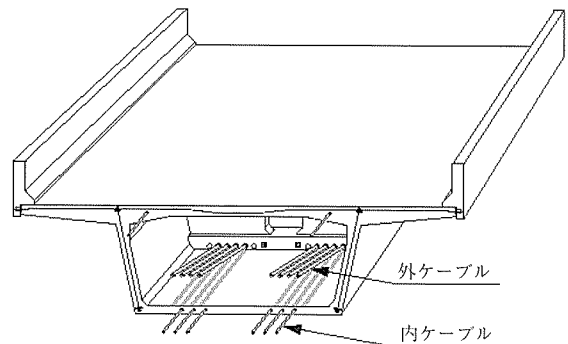


図-4 外ケーブル併用図

動作業車による張出し施工としたが、50 m の標準支間部 800 m 区間では経済的にも有利な大型移動支保工架設工法を採用することで施工の合理化を図り、架設による地形の改変を最小限に抑えることが可能となった。

3. 施工法の検討

3.1 工法の概要

七色 4・5・6 号橋の 50.0 m × 16 径間 = 800.0 m は大型移動支保工架設工法による場所打ち施工を行った。

この架設工法は欧州で開発された工法で、型枠や支保工を部分的に解体(開放)して次の径間へ自走して移動できる「動く橋の工場」である。国内の PC 橋では、1972 年に都市高速道路で使用されてから約 80 橋の実績があり、過去最大支間長 45.0 m、最大幅員 23.0 m が施工されている⁶⁾。

大型移動支保工架設工法の主な特徴は下記のとおり。

- ・ 桁下空間の環境が保全できる
- ・ 屋根があるため気象条件に影響されない
- ・ 繰返し作業で労務が標準化し安全性・品質が向上
- ・ 機械化により省力化・急速施工が可能
- ・ 大規模なほど経済的(一般に施工延長 600 m 以上)

本橋梁では、架設中の荷重を橋体上方に設置されたメインガーダー(主構)で支持するハンガータイプを採用した(図-5、写真-2)。

大型移動支保工の基本構造は、橋体重量を支える 2 列のガーダーと移動時に支持台を前方移動させるために必要な手延べ桁があり、このガーダーから肋骨状に伸びた横梁、および全体を支える支持台から構成される。コンクリート重量は横梁に配置された 4 列の PC 吊り鋼棒(φ 32)で型枠を懸垂して支え、この吊り鋼棒で受けた荷重を横梁からガーダー、支持台、橋脚へと伝える構造である。なお、ガーダーの高さは、通常は $H = 2.0$ m の 2 列配置であるが、本橋梁では 1 径間 50 m という、大型移動支保工架設工法としては最長となる支間であるため、1 回に打設するコン

クリート荷重(最大 1 000 t)を支えるガーダーは 2.0 m × 2 段 = 4.0 m の 2 列配置となった。

横梁には天井クレーンを設置しており、主桁施工時の資機材運搬や大型移動支保工の移動作業に使用した。

全天候型とするために備えた屋根は、波形鋼板と採光に配慮した透明パネルとを組合せており、内部照明と併用することで照度を高めて作業環境が向上した。

R 1・R 2 支持台は主桁施工時の全荷重を支持して橋脚に伝える構造であるが、移動時には支持台上部をジャッキからローラーに受け替えることで、移動支保工を前方に送り出す役割がある。また、支持台下部のスライドベースには支持台をジャッキで横スライドさせる機能を備えており、支持台をスライドさせることで移動支保工全体の方向をシフトさせて、次の径間への線形に対応させることが可能な構造である。R 3 支持脚には車輪があり、移動支保工の移動時に使用して後方重量を支えらるとともに、移動支保工を前進させるための駆動装置も備える。R 4 支持脚は次径間への移動前に R 3 支持脚や先端サポートと一緒に接地する

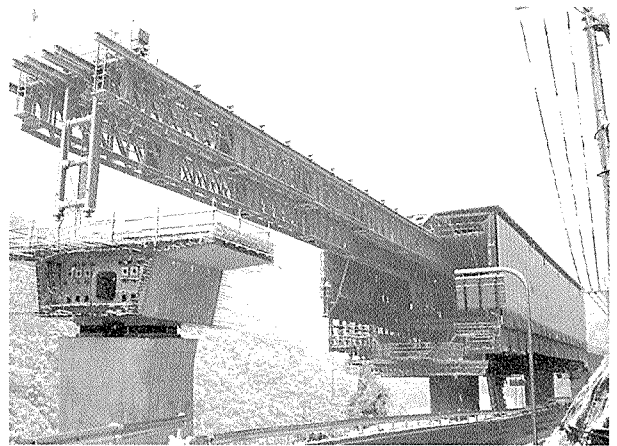


写真-2 大型移動支保工

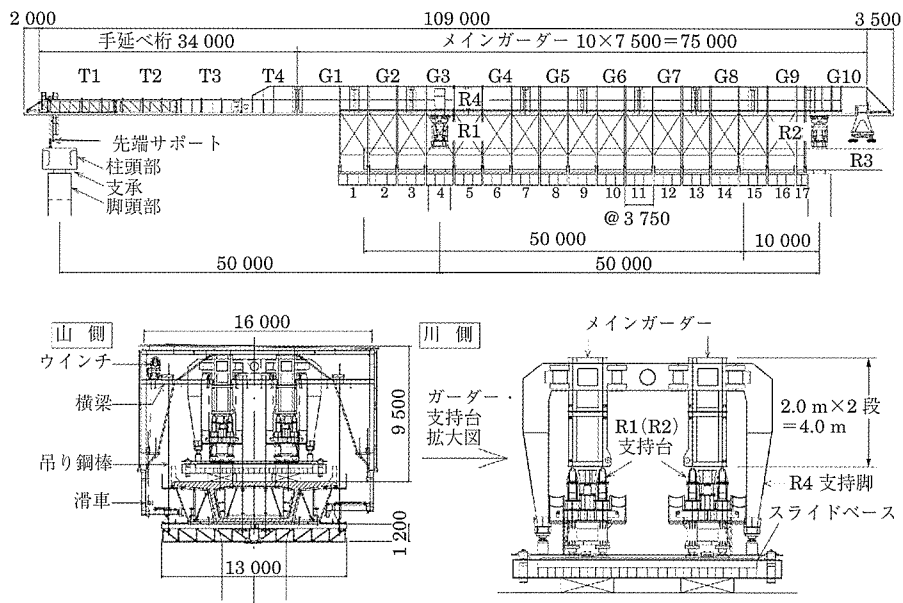


図-5 大型移動支保工図

ことで、R1・R2支持台移動時の一時的な支持脚となる。

また、移動支保工には鋼製の外型枠があり、移動支保工が移動完了すると、外型枠の位置や高さを調整すれば直ちに主桁施工が開始できる工程上の利点があった。また、底版型枠は移動時に橋脚と競合するため、ウインチによるワイヤー操作で型枠が開閉できる構造となっている。

3.2 大型移動支保工の移動方法

大型移動支保工の移動は図-6、図-7のように実施した。基本的に移動支保工は直線方向のみ移動可能な構造なので、道路線形に対しては全体を2段階に分けてシフトしながら、R1・R2支持台の前方移動、橋脚と競合する底版型枠の開閉、および移動支保工の前進を行った。とくに本橋梁では地形・線形等の厳しい制約条件があるため、移動支保工にはさまざまな改良を行った（詳細は4.5章で説明）。

なお、移動支保工の全幅を決定する要素となる型枠開閉設備については下記の対策を実施した。

- (1) 桁下の斜面が障害になり、通常実施される底版型枠の両開きができない
 →川側のみに開く構造に改造した（ウインチを山側へ移設し、側面吊り材に滑車を新設。ただし、川側への偏荷重のため開放する枚数に制限有り）
- (2) 片開き構造にすると回転中心部にかかる負荷が2倍となるため、側面型枠を一緒に開放することができない
 →開放時の重量負荷を軽減するため、側面型枠は底版型枠と分離し、側面吊材にピン固定した。（ただし、側

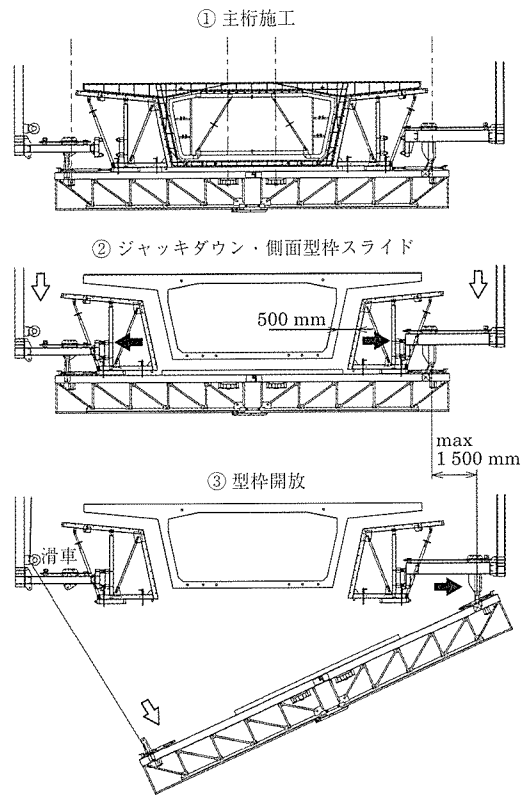
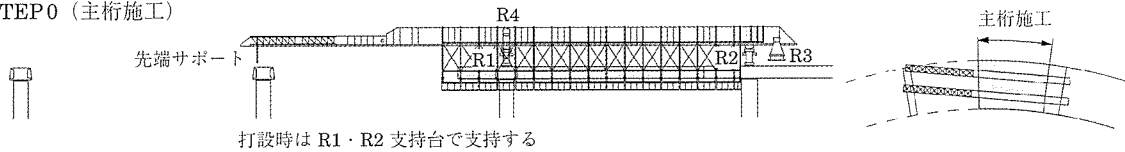
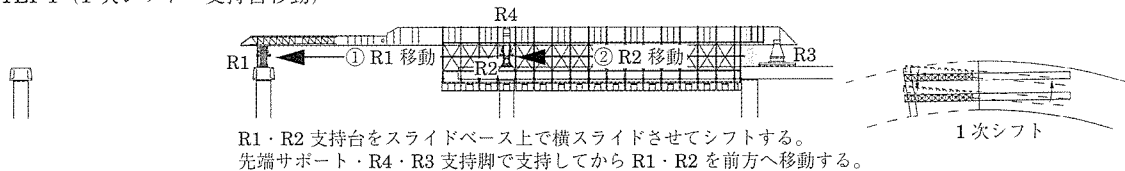


図-6 型枠開閉要領図

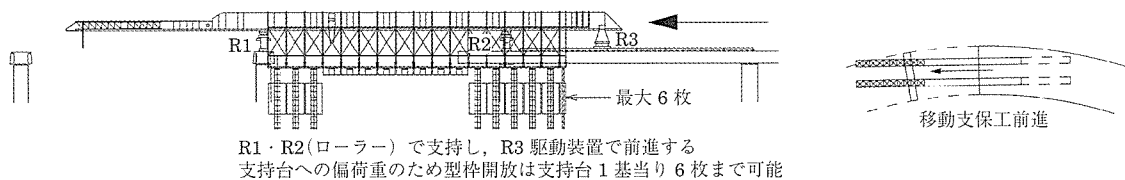
STEP0 (主桁施工)



STEP1 (1次シフト・支持台移動)



STEP2 (底版型枠開閉・移動支保工前進)



STEP3 (2次シフト・型枠閉合)

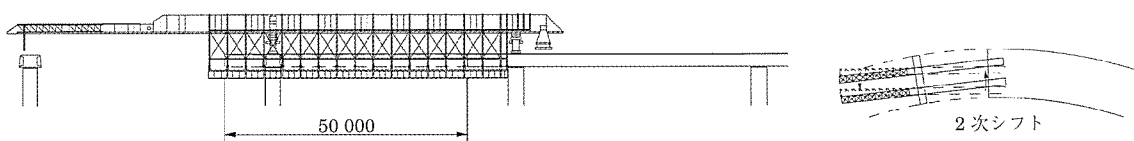


図-7 大型移動支保工移動要領図

面型枠は移動時に最小曲線半径 800 m 区間で橋体と接触しない十分な離隔距離, 500 mm を確保した)

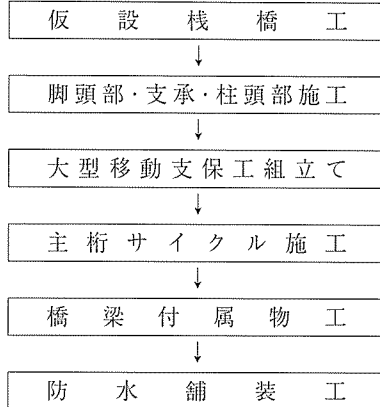
(3) 片開きしても開閉困難な斜面がある

→開閉時に底版型枠を最大で 1 500 mm 川側にスライドできる機能を追加した

4. 七色 4・5・6 号橋の施工

4.1 全体施工フロー

本橋梁の全体施工フローを下記に記す。



4.2 仮設棧橋・脚頭部・支承・柱頭部工

橋脚上端部の $H = 3.5\text{m}$ は脚頭部として上部工で施工し, 支承を据え付けてから, 大型移動支保工を設置するための柱頭部を施工した (写真 - 3)。

周辺は険しい急斜面であるため, 下部工事にて設置された仮設棧橋に覆工板を設置して施工ヤードを確保した。

脚頭部・柱頭部はともにコンクリートをポンプ車で圧送打設したが, 配筋が過密であることや, 生コンプラントから現地まで約 40 km あり到着時にスランプロスの恐れがあるため, コンクリートの品質確保のために現地で流動化剤を添加してスランプを 8 cm から 12 cm に変更した。

支承は, 地震時の大きな水平力を高さの異なる各橋脚に均等に分散させるため, 水平力分散ゴム支承 (1 基当たり最大設計反力 7 500 kN, 重量 7.5 t) を設置した (写真 - 4)。据付けはクレーンを使用し, 据付け後に無収縮モルタルを

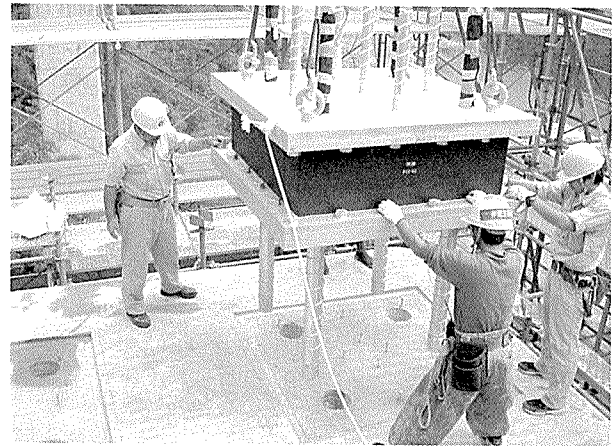


写真 - 4 支承据付け状況

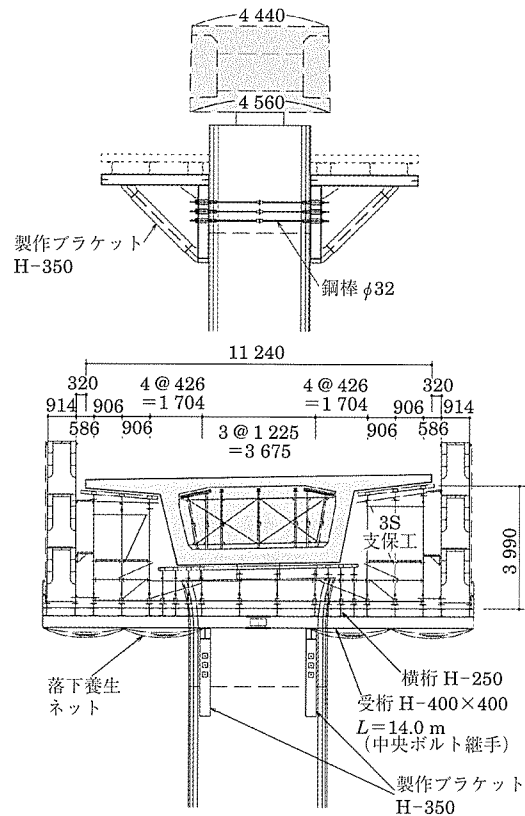


図 - 8 柱頭部ブラケット支保工図



写真 - 3 脚頭部・支承・柱頭部

打設して橋脚と一体化した。

柱頭部の施工ではブラケット支保工 (図 - 8) を架設した。支保工は, 脚頭部施工時に埋め込んだ PC 鋼棒でブラケット材を緊張・固定した。なお, 柱頭部が架設できない掛違部 (P 17・P 22 橋脚) については, 移動支保工の移動時に R 1 支持台を設置する脚頭部の前方側に, 柱頭部の替わりとして鋼製の仮ベントを架設した (写真 - 5)。

4.3 大型移動支保工組立て

総重量 1 500 t の大型移動支保工組立ては, 主桁施工位置に組立てヤードが無いいため, 230 m 後方の P 8 付近で組み立てて (写真 - 6), 既設 3 号橋上を自走して 4 号橋へ移動した。



写真-5 掛違部仮ベント据付け

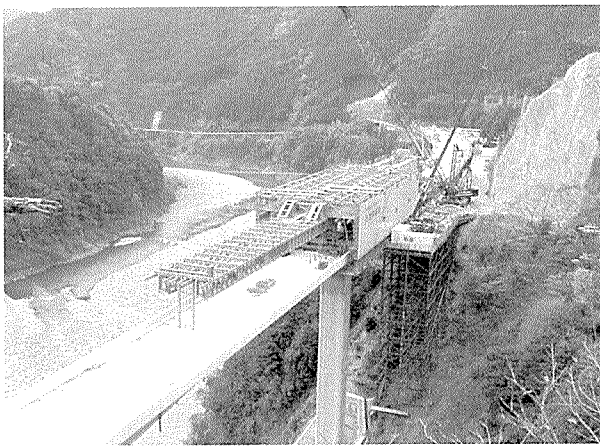


写真-6 大型移動支保工組立て

機材は千葉や岐阜、長崎等から搬入したが、現道の国道168号の道幅が狭いため、経路はすべて紀伊半島を海沿いに南下して和歌山県側から再度北上するルートとした。

組立てヤードは限られていたので、大型クレーン(150t級)で届かない位置への支持台(1基20t)設置に軌条設備を使用したり、組立て用の仮支持台の上部に駆動装置を取り付けて組立て中のガーダーを送り出す等の工夫を行った。また、3号橋の一部には、仮設外ケーブルで補強緊張も行

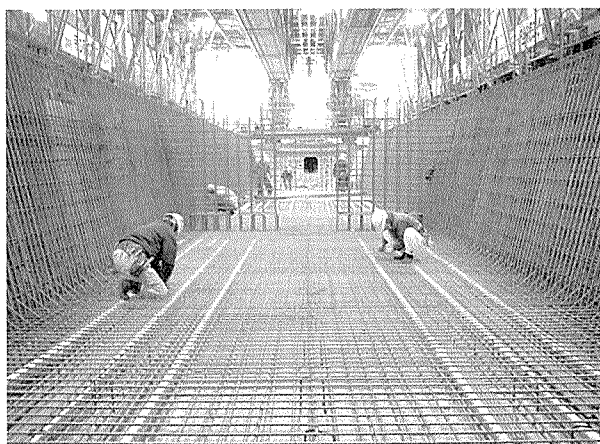
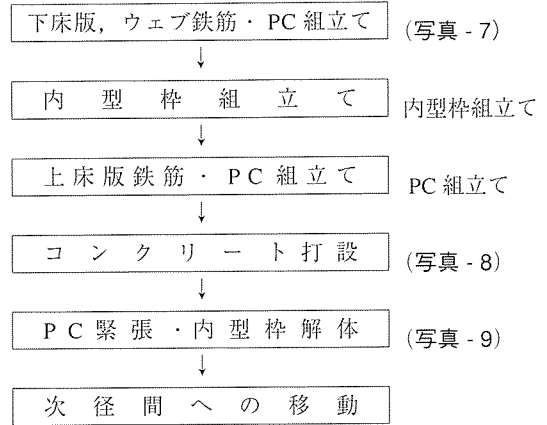


写真-7 底版・ウェブ組立て

った。

4.4 主桁サイクル施工

50.0 m × 16 径間の箱桁橋を大型移動支保工で場所打ち架設した。標準径間のサイクル施工日数は暦日で平均 28 日であった。主桁製作工の施工フローは下記のとおり。



本橋梁は箱桁橋なので、下床版とウェブの鉄筋・PCの組立て後に内型枠を設置した。内型枠は内側フレームで打設時の側圧を支え、中央2列の吊り鋼棒に固定することでス

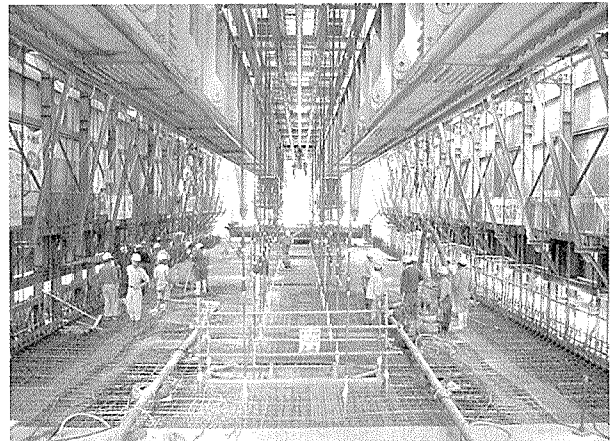


写真-8 主桁コンクリート打設

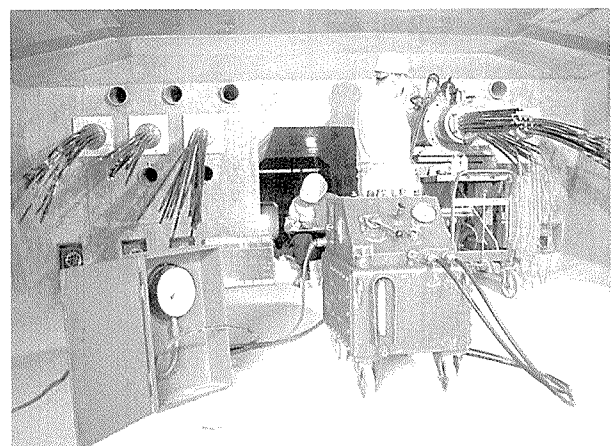


写真-9 外ケーブル緊張

ラフ荷重の支持と内型枠の浮き止めを行った。内型枠の側面は鋼製としたが、スラブは吊り鋼棒の貫通位置が縦断や横断勾配で大きく変化するため木製とした。また、内型枠解体材の搬出口として開口部を1径間に3箇所設けた。

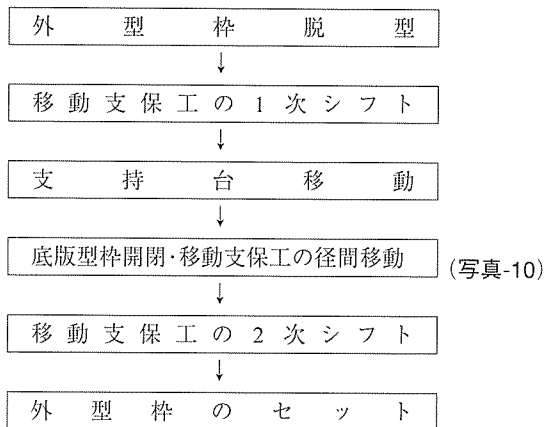
コンクリート打設は移動支保工後方に設置したポンプ車2台から配管圧送して、前方から順に打設した。下床版を打設するときには筒先を下床版まで下げて直接打設した。

PC緊張はVSL工法で実施し、横締め、内ケーブル、鉛直締め鋼棒、外ケーブル、架設用外ケーブル（移動支保工移動後に開放撤去）の順に緊張した。

とくに、外ケーブルの組立て・緊張は、桁内部に架台を組みウインチとターンテーブルでケーブルを挿入するが、事前に内型枠の解体・搬出が必要で、しかも移動支保工の移動には外ケーブルの緊張が必要だったため、作業は正確かつ迅速に行った。なお、外ケーブルの緊張は桁内部で実施するため、重量約600kgの緊張ジャッキの運搬・設置には専用リフターを製作して緊張作業を実施した。

4.5 大型移動支保工移動工

主桁施工後、次径間への移動を下記フローで行った。



PC緊張力で橋体コンクリートの自重が支持可能になった時点でR1・R2支持台のメインジャッキを下げて、大型移動支保工全体を降下することで外型枠を脱型した。側面型枠は次径間の移動に備えて500mm横スライドし、側面吊材にピンで固定した。

シフトは2段階で行い、次径間への方向調整を行った。

R1・R2支持台は移動のためにそれぞれ50m前方の柱頭部上（掛違部は仮ベント上）に移動した。支持台の前方移動は移動支保工内の天井クレーンで行った。

底版型枠の開閉は斜面に沿って川側へ片開きしたが、斜面が近接する区間では開閉時に横スライドも実施した。

大型移動支保工の径間移動は、一般にR3支持脚に装備された電動式モーターで前進するが、本工事の移動工では施工条件から通常とは全く異なる下記方法を実施した。

① ストランドジャッキ推進工法の採用（写真-11）

② 支承傾斜防止用仮ケーブルの設置（写真-12）

①は、大型移動支保工の総重量が1500tであるため、縦断上り勾配最大の4%では60tの推進力が必要となる。そこで、R3支持脚に自動制御式ツインジャッキを2基装備



写真-10 移動工

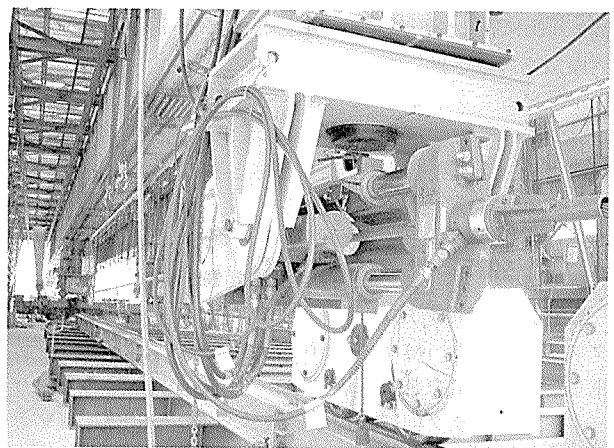


写真-11 推進ジャッキ設置



写真-12 仮ケーブル設置

し、前方のスライドベースに固定されたPC鋼より線φ28.6×2本をたぐりよせて前進した（速度：50cm/min）。

②は、上り勾配4%で移動支保工が前進すると、柱頭部上R1支持台反力（最大反力1000t）の4%が水平分力（最大水平分力40t）として作用する。したがって、R1・R2の前後の支持台をPC鋼より線φ28.6×2本で繋ぎ、R2支持台後方にて緊張することで支承の傾斜を制御した。

移動後は外型枠を線形にあわせて位置調整するが、外型

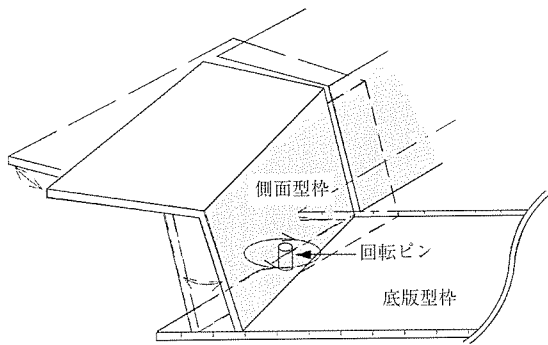


図 - 9 側面型枠回転イメージ図

枠設備についても下記のような独自の工夫を凝らした。

③側面型枠を回転可能な構造に改造 (図 - 9)

曲線最小半径は 800 m で、1 径間 50 m では橋体が約 400 mm 外側に膨らむ形状となるため、3.75 m 間隔に配置した側面型枠の継ぎ目に段差が生じる。そこで、側面型枠の中央下部にピンを取り付け、底版には溝を設けた。溝に入ったピンを中心に側面型枠が回転することで、側面の形状は線形に沿った曲線を描くことが可能となった。

4.6 橋梁付属物・防水舗装工

橋梁付属物は壁高欄、伸縮装置、落橋防止装置、排水設備、外ケーブル防振装置、および橋暦板を施工した。

壁高欄の施工は、張出し足場の固定にフィンセラミックスインサート (M 12 × 80) を主桁に埋め込み、作業台車で型枠支保工を兼ねた足場を設置して行った。コンクリートにはクラック抑制のため膨張材を添加したほか、V カット (誘発目地) を設計 10 m 間隔から 5 m 間隔に変更してエポキシ樹脂塗装した鉄筋を X 字形に配置した。また、打設時は高欄天端と同じ高さで作業用足場を橋面に設置することで作業負担を軽減した (写真 - 13)。



写真 - 13 壁高欄打設

伸縮装置は 3 軸方向の伸縮・回転に対応できる装置をクレーンで設置した。落橋防止装置は防錆被覆された多重 PC 鋼より線を掛違部の桁内に設置した。また、排水設備は排水桝を橋体の張出し端部に設置してから、桁側面の排水管を橋梁点検車で取り付けた。

防水舗装工は、改質アスファルト系防水シートを設置してから、粗粒度・密粒度アスコンをそれぞれ 4 cm 舗装した (写真 - 14)。有効幅員が 10.5 m あるので、舗装は各層とも片側車線ごとに行われた。なお、橋面の縦断・横断勾配で橋面に水が溜まる箇所にはあらかじめスラブドレンを橋体に埋設した。また、舗装と防水シートの間の排水材として、導水管 (SUS 製コイルドレン、φ 18 mm) を横断勾配の低い地覆沿いや縦断勾配で水が溜まる伸縮装置付近に設置して、排水桝の水抜き穴やスラブドレンに接続した。

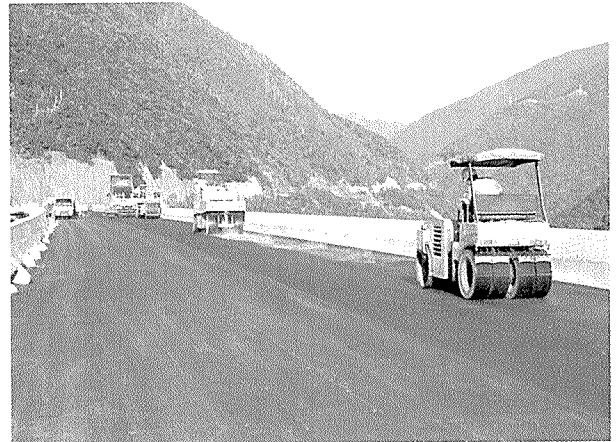


写真 - 14 アスファルト舗装

5. おわりに

七色高架橋は、2005 年 3 月に供用開始することを目指して工事が進められ、下部工事が着工されてから約 8 年の歳月を経て開通する運びとなった (写真 - 15)。山岳地の厳しい制約条件を克服するために改良され、より高度化した大型移動支保工の技術が今後の工事に生かされ、本稿が今後の橋梁工事の発展に貢献できれば幸いである。

最後に、本橋梁の設計・施工にご指導、ご協力頂いた関係者皆様に深く感謝の意を表します。

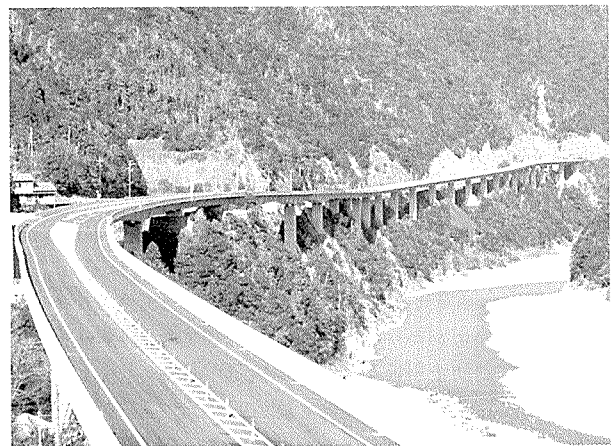


写真 - 15 七色高架橋完成

参考文献

- 1) 奈良県：七色橋梁設計指針（案），1998年3月
- 2) 増川，天野，須田，大塚：高強度鉄筋を用いたRC橋脚部材の開発，コンクリート工学論文集，Vol.9，No.1，pp.123～132，1998年
- 3) 奈良県：国道168号七色高架橋高強度鉄筋模型試験報告書，1998年12月
- 4) 仲谷，上田，木村，山脇：高強度鉄筋SD490を使用した七色高架橋の計画と設計（上），橋梁と基礎，Vol.33，No.11，pp.11～17，1999年11月
- 5) 仲谷，上田，木村，山脇：高強度鉄筋SD490を使用した七色高架橋の計画と設計（下），橋梁と基礎，Vol.33，No.12，pp.41～49，1999年12月
- 6) (社)プレストレストコンクリート技術協会：PC橋架設工法，pp.57～63，2002年

【2005年3月8日受付】



刊行物案内

フレッシュマンのためのPC講座

プレストレストコンクリートの世界

頒布価格：会員特価 3 000 円（税込み・送料別途400円） ○申込み先：

：非会員価格 3 600 円（税込み・送料別途400円） (社)プレストレストコンクリート技術協会 事務局

体 裁：A4判，140頁

〒162-0821 東京都新宿区津久戸町4番6号 第3都ビル5F

内容紹介

TEL：03-3260-2521 FAX：03-3235-3370

＝基礎編＝

- 基礎 編1 PCとは何か
- 基礎 編2 PCはどんなものに利用できるか
- 基礎 編3 プレストレスの与え方について考えてみよう
- 基礎 編4 プレストレスは変化する
- 基礎 編5 荷重と断面力について考えてみよう
- 基礎 編6 部材に生じる応力度について考えてみよう
- 基礎 編7 プレストレス量の決め方について考えてみよう
- 基礎 編8 PCに命を与えるには(プレストレスングとその管理)
- 基礎 編9 PCを長生きさせよう

＝PC橋編＝

- PC橋 編1 PC橋にはどんなものがあるか
- PC橋 編2 PC橋を計画してみよう
- PC橋 編3 PC橋を設計してみよう
- PC橋 編4 現場を見てみよう

＝PC建築編＝

- PC建築 編1 PC建築とは
- PC建築 編2 PC建築にはどんなものがあるか
- PC建築 編3 プレキャストPC建築の設計について考えてみよう
- PC建築 編4 PC建築でオフィスを設計してみよう

資 料 PCを勉強するときの参考図書
索 引