

# 新名神高速道路 成合高架橋の設計・施工

## — 主桁ウェブ数の変化や分岐構造を有する連続桁 —

大久保 孝<sup>\*1</sup>・蓑田 俊介<sup>\*2</sup>・野世溪 真<sup>\*3</sup>・山口 泰弘<sup>\*4</sup>

本工事は、名神高速道路と新名神高速道路を結ぶ高槻連絡路内に架かる PRC 多径間連続桁橋の上部工事である。上部工形式は標準幅員区間では 2 主版桁断面を基本構造とし、固定式支保工による 1 径間ごとの分割施工を行った。本橋は高槻 JCT・IC の A ランプ合流部ならびに D ランプ分流部を有しており、大きな幅員変化に対しては中間支点部で主桁ウェブ数を 2～3～4 本と段階的に変化させて対応しており、下り線の D ランプ分流部では分岐構造を採用している。主桁ウェブ数の変化部では、中間支点上で間接支持となる主桁曲げモーメント性状の把握が、また分岐構造部では、分岐部支点横桁に生じる面内および面外断面力などの力学性状の把握と影響検討が設計上の課題となった。

成合高架橋の施工範囲は、片側が急峻な山地を有する狭隘な施工ヤードとなっているほか、蛇行する河川と近接する市道および工事用道路と交差するなど、厳しい施工条件下での固定支保工施工であった。さらに、下部工引き渡し順序の調整が必要となったことから、一方向に連続して片押しする分割施工から中間径間部から不連続に離散する分割施工（以下、泣き別れ分割施工と記す）に変更を行った。

本報告では、複雑で多様な構造を有する PRC 多径間連続橋での立体格子解析や FEM 解析を用いた設計における各種検討と施工に関する概要を報告する。

キーワード：多主版桁、分岐構造、立体格子解析、FEM 解析、泣き別れ分割施工

### 1. はじめに

成合高架橋は、名神高速道路と新名神高速道路を結ぶ連絡路の高槻 JCT・IC 付近に架かる固定式支保工架設による PRC 多径間連続桁橋である。本橋は、A ランプ合流部を有する 12 径間の上り線と D ランプ分流部を有する 13 径間 + 分岐 2 径間の下り線で構成される。構造的特徴としては、幅員変化に伴う主桁ウェブ数の変化や、支間長に応じた版桁から箱桁への断面形式の変化、4 主版桁から 2 連 2 主版桁への分岐構造などがあげられる。

設計においては、主桁ウェブ数変化部では中間支点横桁により中ウェブ（中桁）が間接支持されることから、主桁の設計における中間支点部の曲げモーメントの検証や、幅員変化点における主桁の角折れや版桁から箱桁に変化する混合桁構造接合部近傍における局部応力に対する検討として FEM 解析を行った。また、主桁分岐部では主桁縦締め

ケーブル配置の最適化ならびに局部応力に対する検討として立体格子解析や FEM 解析を行った。さらに、主桁ウェブ数変化部および分岐部の支点横桁についても面内・面外方向の曲げモーメントやねじりモーメントに対する検討を行った。

施工においては、急峻な山地でかつ狭隘な施工ヤードに加え、河川や市道および工事用道路との交差など、厳しい施工条件下での分割施工で架設を行った。また、分割施工は、一方向片押し施工から、下部工引渡し後、施工可能な橋脚から着手する、泣き別れ分割施工に変更した。

本稿では、立体格子解析や FEM 解析を用いた設計における各種検討と施工に関する概要を報告する。

### 2. 橋梁概要

橋梁諸元を表 - 1、全体一般図を図 - 1 に示す。



<sup>\*1</sup> Takashi OKUBO

川田建設(株) 大阪支店  
事業推進部 技術課



<sup>\*2</sup> Shunsuke MINODA

川田建設(株) 九州支店  
技術課



<sup>\*3</sup> Makoto NOSETANI

川田建設(株) 大阪支店  
事業推進部 工事課



<sup>\*4</sup> Yasuhiro YAMAGUCHI

川田建設(株) 大阪支店  
事業推進部 工事課

表 - 1 橋梁諸元

工事名	新名神高速道路 成合高架橋他2橋 (PC 上部工) 工事
工事場所	大阪府高槻市大字成合
構造形式	(上り線) PRC 12 径間連続桁橋 (2 主版桁~3 主版桁~2 室箱桁~3 室箱桁) (下り線) PRC 13 径間連続桁橋 (2 主版桁~3 主版桁~4 主版桁~2 連2 主版桁)
橋長	(上り線) 390.000 m, (下り線) 388.000 m
支間長	(上り線) 18.600 m + 2@28.500 m + 6@32.000 m + 2@42.000 m + 35.600 m (下り線) 24.100 m + 2@28.500 m + 6@32.000 m + 25.000 m + 34.000 m + 30.000 m + 23.100 m
有効幅員	(上り線) 9.010 m~17.868 m, (下り線) 9.010 m~19.193 m
全幅員	(上り線) 9.900 m~20.775 m, (下り線) 9.900 m~20.377 m

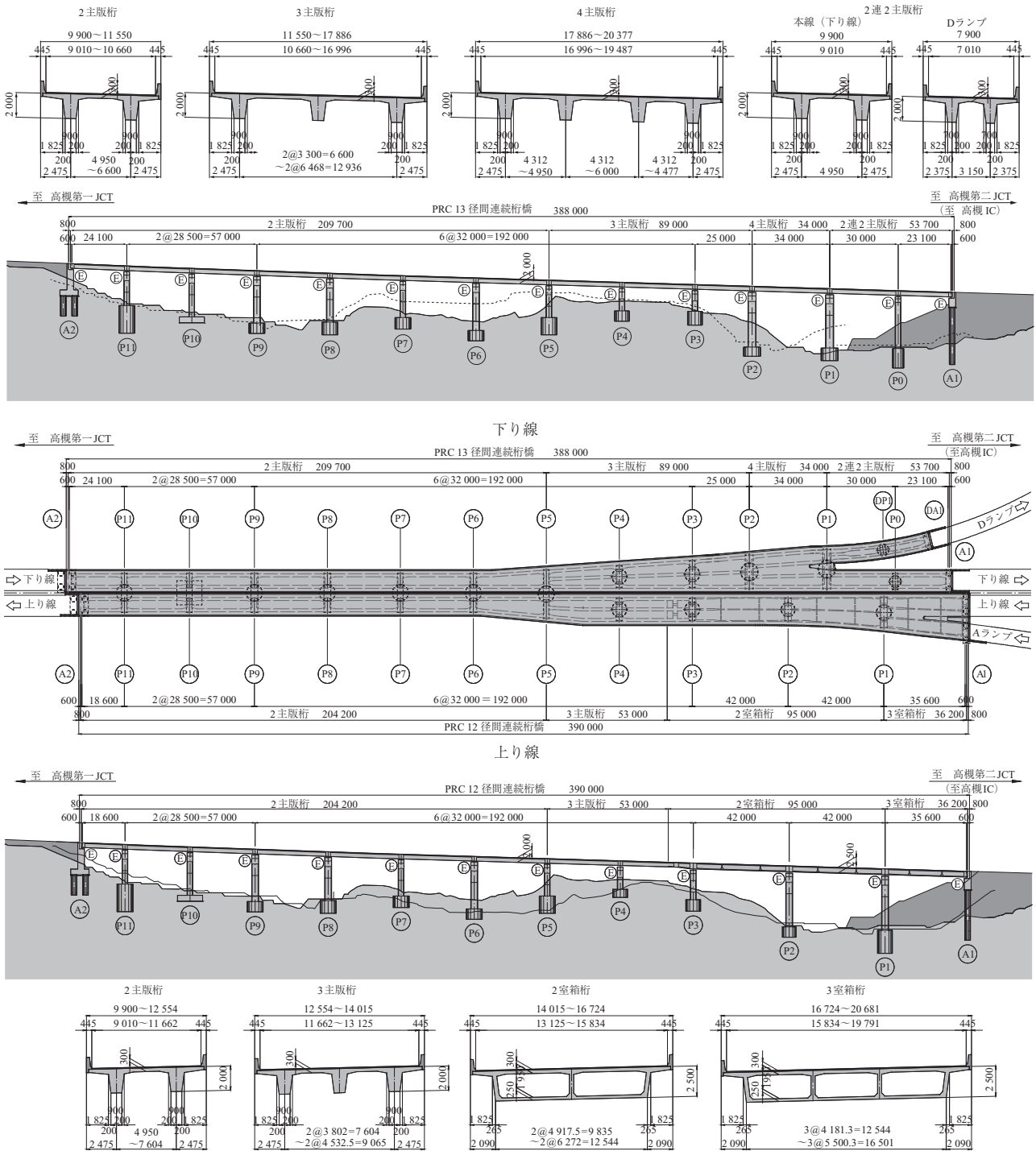


図 - 1 全体一般図



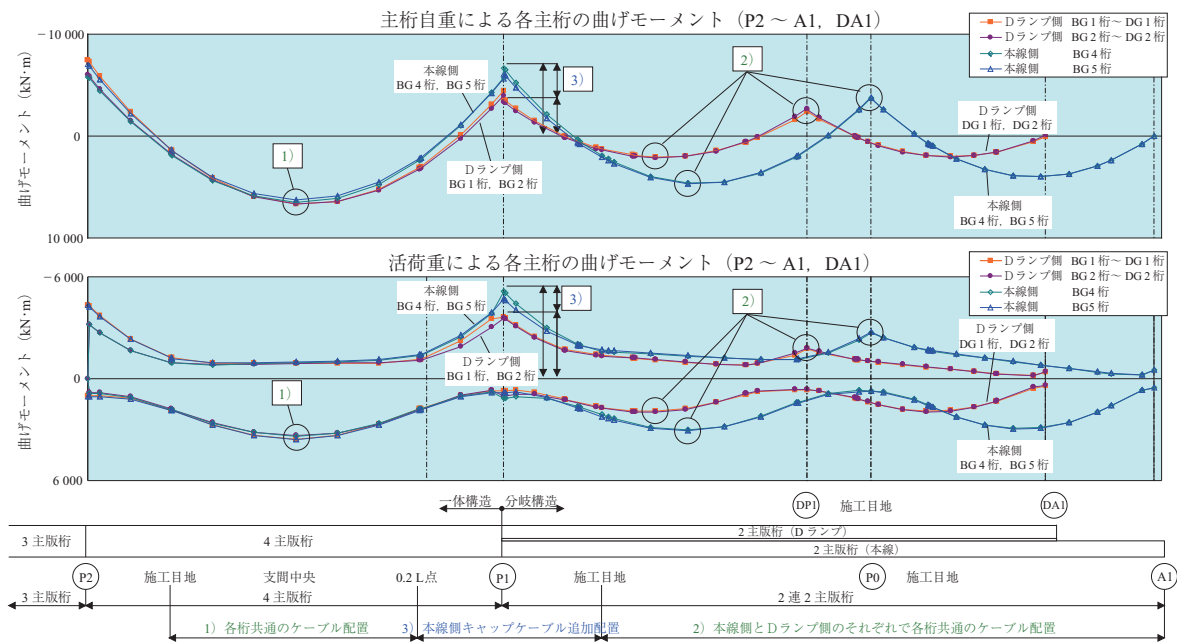


図 - 4 分岐部近傍の各主桁の曲げモーメント分布 (下り線 P1)

最適化を図ることとした。P1 支点部では一体側の 4 主版桁と分岐側の 2 連の 2 主版桁の計 3 断面で応力度が制限値以下となるようにケーブル本数を決定した。

- 1) 一体構造区間では支間中央の曲げモーメントが同等のため、各桁共通配置
- 2) 分岐構造区間では本線とランプのそれぞれの 2 主版桁断面で 2 主桁の曲げモーメントが同等のため、本線とランプのそれぞれで各桁共通配置
- 3) 分岐境界の P1 支点部では応力バランスの均等化を図るため、各桁共通配置を基本配置として負曲げが大きい本線側のみ支点から 0.2L (L: 支間長) の区間にキャップケーブルを追加配置 (図 - 5)

(3) 検討結果 (FEM 解析)

P1 支点部を中心とした 2 径間の FEM 解析モデルに主桁に作用する荷重ならびに主桁縦締め、床版縦締め、横桁横

縮めのプレストレスを載荷した結果、主桁上下縁の応力は立体格子解析に基づく設計値と FEM 解析結果でおおむね一致し、主桁縦締めケーブル配置や立体格子解析のモデル化などの設計手法は妥当と判断した。また、局部応力としては、BG 2 桁と DG 2 桁の軸線が不連続であるのに対して、主桁縦締めケーブルを連続配置としたことでケーブル平面角変化部のウェブ側面に腹圧力による引張応力が発生し、当初計画の形状では DG 2 桁側で最大 2.4 N/mm<sup>2</sup>であった (図 - 6)。そこで、図 - 7 に示すようにウェブ擦付け形状を拡大して引張応力を斜引張応力度の制限値 1.22 N/mm<sup>2</sup>程度以下に低減するとともに、補強鉄筋としてスターラップと軸方向鉄筋を配置して構造安全性を確保した。

3.3 主桁ウェブ数変化部および分岐部の支点横桁の検討

(1) 検討概要

多主版桁橋の設計においては一般的に、主桁断面力は設

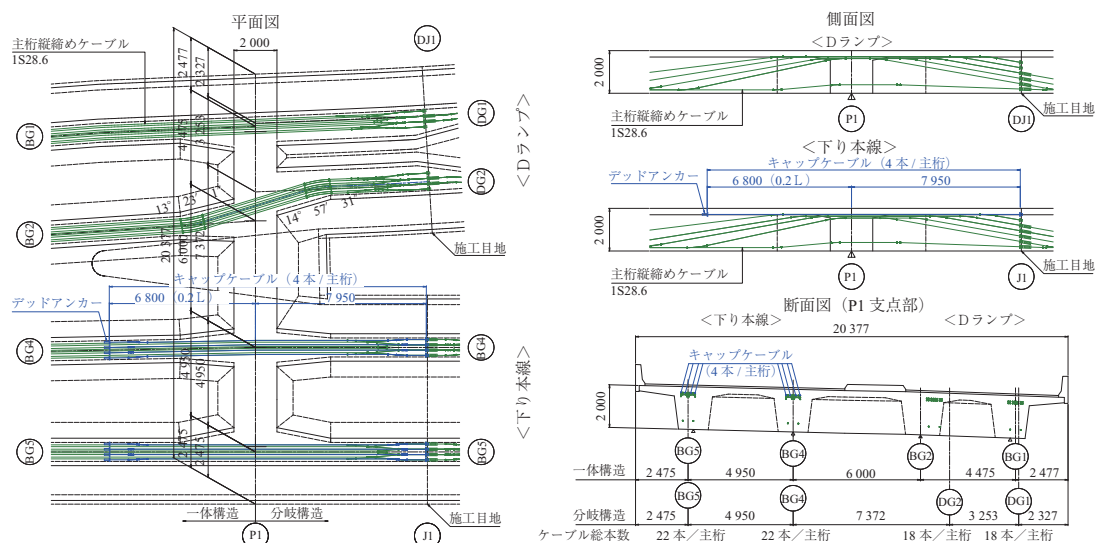


図 - 5 主桁分岐部の縦締めケーブル配置 (下り線 P1)



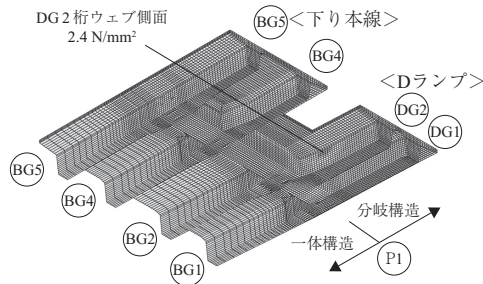


図 - 6 分岐部近傍の死荷重時最大主応力

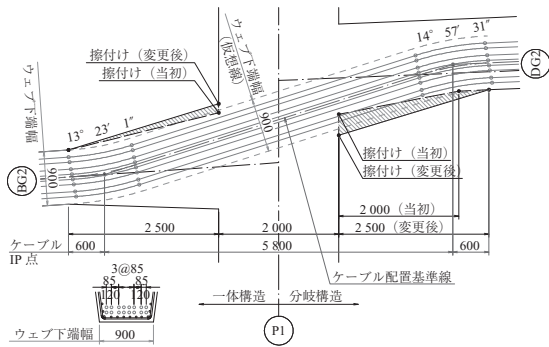


図 - 7 ウェブ擦付け形状 (BG2 桁～ DG2 桁)

計要領第二集<sup>2)</sup>に準拠して、自重、橋面荷重、活荷重によるものを平面格子解析、それ以外の荷重によるものを平面骨組解析により算出する。また、支点横桁断面力はコンクリート道路橋設計便覧<sup>3)</sup>に準拠して、横桁断面を梁モデルとした平面骨組解析により自重、橋面荷重、活荷重の支点反力相当の荷重を対象に算出する。本橋においては、主桁ウェブ数が増える下り線の P5、P2 支点部 (図 - 8) や分岐構造となる P1 支点部 (図 - 5) では、支点横桁を境に主桁中ウェブの軸線が不連続となる。そのため、横桁断面を梁モデルとする一般的な設計方法では算出されない以下の支点横桁断面力についても影響が大きいことが懸念された。

- 1) 主桁プレストレスによる支点横桁の面内曲げモーメント (橋軸回り)
- 2) 主桁プレストレス、乾燥収縮による支点横桁の面外曲げモーメント (鉛直軸回り)
- 3) 自重、橋面荷重、活荷重、主桁プレストレスによる支点横桁のねじりモーメント (橋軸直角軸回り)

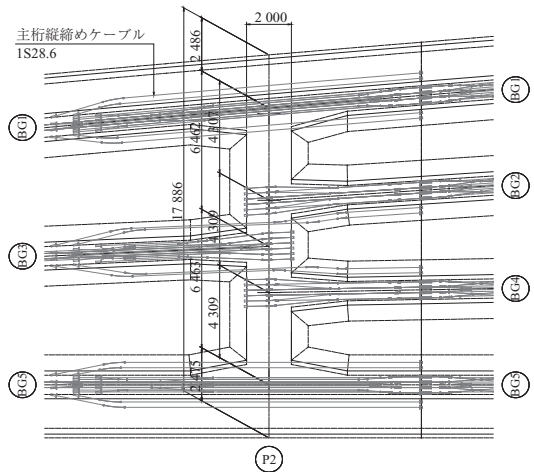


図 - 8 支点横桁平面形状 (下り線 P2)

そのため、本橋では上記断面力の算出を目的として、面内・面外の断面力が算出可能な立体格子解析を採用し、自重、橋面荷重、活荷重に加えて主桁プレストレスや乾燥収縮を載荷した。下り線 P5、P2、P1 支点横桁には立体格子解析で算出した上記断面力を梁モデルの断面力に加算することで、主桁中ウェブの軸線が不連続であることに起因する支点横桁への影響を考慮した設計を行うこととした (表 - 2)。なお、上り線の P5 支点部も同様である。

表 - 2 支点横桁の設計断面力

	一般的な場合			本橋		
	面内曲げ	面外曲げ	ねじり	面内曲げ	面外曲げ	ねじり
自重	○	-	◎	○	-	●
橋面荷重	○	-	◎	○	-	●
活荷重	○	-	◎	○	-	●
主桁プレストレス	-	-	-	●	●	●
乾燥収縮	-	-	-	-	●	-

凡例)

- : 考慮 (平面骨組解析) … 横桁設計モデル
- ◎ : 考慮 (平面格子解析) … 主桁設計モデル兼用
- : 考慮 (立体格子解析) … 主桁設計モデル兼用
- : 無視

(2) 検討結果

標準的な 2 主版桁区間の P11～P6 支点部と主桁中ウェブの軸線が不連続となる P5、P2、P1 支点部について、支点横桁の設計結果を図 - 9 に示す。

支点横桁は PRC 構造として設計荷重作用時のひび割れ

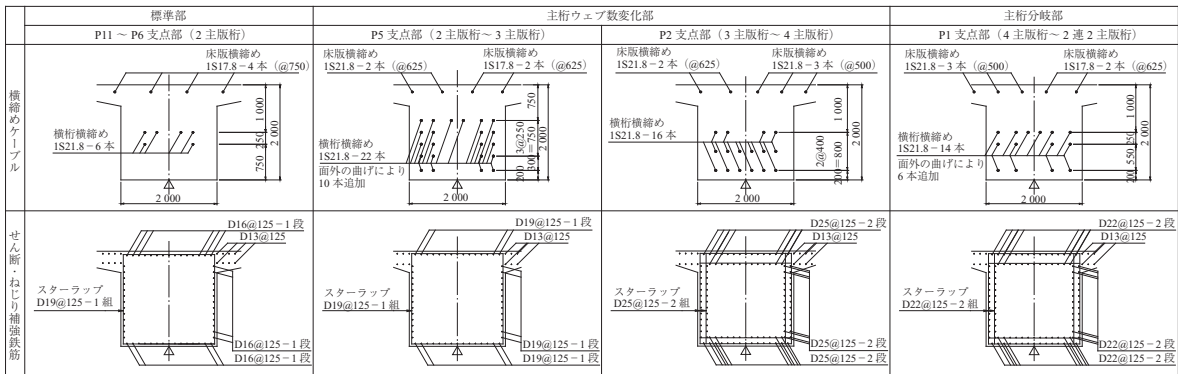


図 - 9 支点横桁設計結果一覧 (下り線)

を制限する方針とし、曲げに対しては死荷重時に方法C（フルプレストレス）、設計荷重時に方法B（曲げひび割れ発生限界）、せん断・ねじりに対しては斜引張応力度の制限値を満足するように横締めケーブル（1S21.8）の配置を決定した。その結果、横締めケーブル本数は主桁中ウェブの軸線不連続の影響を考慮した面内・面外二軸曲げ照査により、P5 支点部 22 本、P2 支点部 16 本、P1 支点部 14 本となった。とくに、P5 および P1 支点部では主桁プレストレスによる面外の曲げの影響が大きく、面内の曲げ照査のみの場合に比べてそれぞれ 10 本および 6 本の追加となった。また、終局荷重作用時のせん断・ねじりに対してはスターラップと軸方向鉄筋を 125 mm ピッチで配置する方針とし、鉄筋量は主桁中ウェブの軸線不連続の影響によりねじりモーメントが大きく、P5 支点部 D19-1 段、P2 支点部 D25-2 段、P1 支点部 D22-2 段となった。幅員変化に伴う主桁ウェブ数の変化や分岐を有する支点部では標準的な 2 主版桁区間に比べて多くの補強鋼材量となっており、二軸曲げやねじりの影響を適切に評価することは重要といえる。

## 4. 施 工

### 4.1 施工概要

成合高架橋の施工範囲は、片側が急峻な山地と山間を普通河川東檜尾川、地獄谷川が蛇行して流れるうえ、市道と工事用道路が交差する。

当初の架設計画では、A2 側から A1 側に向かって 1 径間毎の片押し分割施工であったが、中間橋脚付近の用地未解決案件に伴う下部工工事工程との調整が必要となり、上部工工事開始時期の大幅な遅れが、橋体引き渡し時期を見据えた全体工程への懸念事項となった。

このことを踏まえ、下部工引き渡し時期の再調整とそれに対応した上部工詳細設計での施工ステップ検討から、先行可能な径間から施工を開始する変則的な分割施工で行うことを決定した。具体的には、ステップ 1 として P11 橋脚から P8 橋脚に向かって、ステップ 2 として P5 橋脚から A1 橋台に向かって、ステップ 3 として A2 橋台 - P11 径間、ステップ 4 として P7 - P6 径間を閉合ブロックとする 1 径間ごとの泣き別れ方式での分割施工を行った。

固定支保工による分割施工であるが、架橋位置は片側が急峻な山地でかつ狭隘な施工ヤードであり、さらには交差条件となる河川や市道を跨ぐため、各径間で支保工形状が異なる計画を立て施工を行った（写真 - 2）。



写真 - 2 急峻斜面への杭基礎支保工施工状況

### 4.2 コンクリートの品質確保に対する取組み

主要材料となるコンクリートは、密実でひび割れ発生のないコンクリートとすることがもっとも重要である。フレッシュコンクリートの品質を確保し、確実な打込み充填と養生を実施し、耐久性に優れたコンクリート構造物の構築を念頭に置き施工した。フレッシュコンクリートは、試験練りにて配合、性状、強度などを確認したのち、打設箇所までの運搬、打設に必要な要素（区間割りの明示、打込み高さ、締固め間隔、打重ね時間管理など）を取り入れた詳細な打設計画書に基づく現場搬入、打設を行いその品質を確保した。マスコンクリート部材の箱桁部支点横桁においては、エアープайプクーリングを行い、水和発熱に起因する温度ひび割れの抑制を図った。養生においては、初期に保湿性の高いコンクリート湿潤養生マットによる湿潤養生を 5 日間行い、その後、材齢 28 日まで気泡緩衝シート・ブルーシートの敷設、型枠存置による封かん湿潤養生を行った。

材料技術や施工技术の進化が進んではいるが、コンクリート構造物の品質確保は、綿密な計画と行き届いた配慮に基づく丁寧な打設と十分な養生という基本こそが、必要十分条件であることを再認識できた。

## 5. おわりに

最近の PC 上部工における構造の多様化、複雑化は、設計の高度化が要求されることとなるが、一般的な設計手法では十分な検証ができないような事項については、解析的アプローチとして立体格子解析や FEM 解析は有効である。

また、省力化や工程短縮が望まれるため、施工条件の背景は今後も厳しいものとなるが、緻密で耐久性に優れたコンクリート構造物の構築には、やはり基本に忠実な施工管理が肝要である。

本工事は 2017 年 10 月に竣工し、2017 年 12 月、高槻 JCT・IC～川西 IC 区間の開通により供用が開始された（写真 - 3）。関係各位に対し深く感謝の意を表すとともに、本稿が今後の類似構造の設計・施工において参考になれば幸いである。

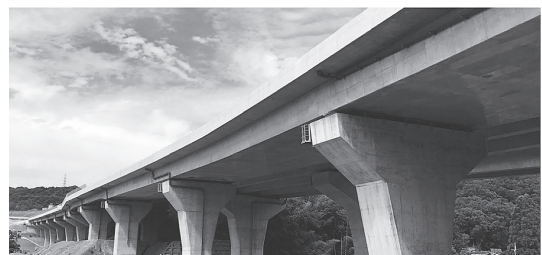


写真 - 3 完成写真（上り線 A1 側面より）

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，pp.282-284，2012.3
- 2) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第二集 橋梁建設編，pp.8-37-8-38，2012.7
- 3) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，pp.280-281，1994.2

【2017 年 12 月 27 日受付】