

新名神高速道路 楊梅山高架橋の設計・施工

— 大規模箱桁橋における施工の合理化 —

片 健一*1・水田 武利*2・鈴木 正敏*3・大八木 亮*4

楊梅山高架橋は、新名神高速道路の高槻 JCT・IC～神戸 JCT のうち、高槻 JCT・IC の西側に位置する多径間連続箱桁橋である。本橋は上下線ともに橋長 1100 m を越える大規模な PRC 連続箱桁構造であり、コンクリートウェブ構造および波形鋼板ウェブ構造で構成されている。また、高槻 JCT・IC の一部を担っており、橋梁途中から本線部とランプ部に分岐するため複雑な構造の橋梁である。加えて、本工事では下部工の引き渡し時期や隣接する土工区間との調整など施工面で多くの制約が生じていた。このような厳しい工事条件のもと、定められた工期を満足しながら品質を確保するために、設計面ではブロック割りの見直しや高強度 PC 鋼材の使用、施工面では柱頭部でのプレファブ鉄筋や波形鋼板ウェブ部での特殊な急速施工法の採用などを実施した。これらの合理化対策により 2017 年 11 月に部分竣工を迎えることが可能となった。

本稿は、本橋の構造的な特徴に加え、大規模橋梁を合理的に工事するために行った設計・施工に関して述べるものである。

キーワード：大規模 PRC 橋、合理化、プレファブ鉄筋、急速施工

1. はじめに

楊梅山高架橋は、新名神高速道路の高槻 JCT・IC～神戸 JCT のうち、大阪府高槻市に架橋されている上下線ともに橋長 1100 m を超える PRC 連続箱桁橋である。本橋の橋梁位置図を図 - 1 に示す。本橋は、上り線が 12 径間、下り線が 11 径間で構成されており、大部分がコンクリートウェブ構造であるが、起点側の側径間付近は支間が長いいため、主桁の軽量化を目的に波形鋼板ウェブ構造が採用されている。また、本橋は高槻 JCT・IC の一部を担っており、橋梁の途中で本線橋とランプ橋に分岐する構造を有している。そのため暫定形でも幅員が 10.75～24.05 m（ランプ部は 8.5 m）に変化し、さらに将来的な完成形での車線増加による幅員拡幅にも対応できるよう計画されている。加えて、起点側の側径間長が 100 m を超える規模となり、下り線では柱頭部高さが 12.0 m に達する橋脚もあった。このような大規模かつ複雑な構造に加えて、当初工程からの下部工の引き渡し時期の変更や、起点側端支点が本工事と同時期に工事している隣接工区の盛土上に位置するなど、他工事の影響が大きいことも本工事の特徴である。本橋は波形

鋼板ウェブ部の本線以外の区間が平成 29 年 12 月の開通対象であったため、前述の条件を考慮しながら工期を満足するためには設計・施工において以下の技術的課題を克服する必要があった。

- ① 長支間かつ広幅員を有する大規模な構造に対する安全性と施工性の確保
- ② 多径間を同時に張出し施工することを可能にするた



図 - 1 橋梁位置図



*1 Kenichi KATA

三井住友建設 (株)
土木本部 土木設計部



*2 Taketoshi MIZUTA

三井住友建設 (株)
土木本部 土木設計部



*3 Masatoshi SUZUKI

三井住友建設・富士ピー
エス・極東興和 JV



*4 Ryo OYAGI

三井住友建設・富士ピー
エス・極東興和 JV

めの施工長やブロック割りの設定

- ③ 高い桁高を有する柱頭部施工における合理的な施工
- ④ 施工工程上、クリティカルとなる波形鋼板ウェブ部に対する工期対策

本稿では、これらの課題に対して行った設計・施工の概要について報告する。

2. 橋梁概要

本橋の橋梁諸元を以下に示す。全体一般図および標準断面面図を図 - 2, 3 に示す。

- 工事名
新名神高速道路 楊梅山高架橋 (PC 上部工) 工事
- 構造形式
上り線 PRC 12 径間連続箱桁橋
下り線 PRC 11 径間連続箱桁橋
(上下線ともコンクリートウェブ+波形鋼板ウェブ)
- 橋長および支間割り
上り線
本線 1 106.5 m (104.5+125.0+9@90.5+58.5 m)
B ランプ (97.1+125.0 m)

下り線

本線 1 116.5 m (116.6+155.4+2@100.0+6@97.0+58.5 m)
C ランプ (108.6+154.9 m)

- 有効幅員
本線標準部暫定形: 10.75 m, 本線標準部完成形: 16.0 m
- 桁高
3.000 ~ 12.000 m

本橋の上部工はすべての橋脚で張出し施工が採用されており、前述にもあるように、本橋は本線橋とランプ部を有する構造であるため、終点側から起点側にむけて幅員が拡幅していく構造となっている。

幅員は、終点側からみると上り線は UP5, 下り線は DP5 近傍まで標準幅員 (暫定形: 10.75 m) であり、そこからのおおの幅員変化がはじまる。上り線は UP4 - UP3 間で1室から2室へ、UP3 - UP2 間で2室から3室へとそれぞれ箱桁の室数が増える。同様に下り線も DP5 - DP4 間で1室から2室へ、DP3 - DP2 間で2室から3室へと変化する。室数の変化は各支間の中央閉合部で行われ、横桁を介してウェブが接続されている。以降は3室箱桁構造となり上り線は UP1, 下り線は DP1 の各橋脚の柱頭部で起点側にむ

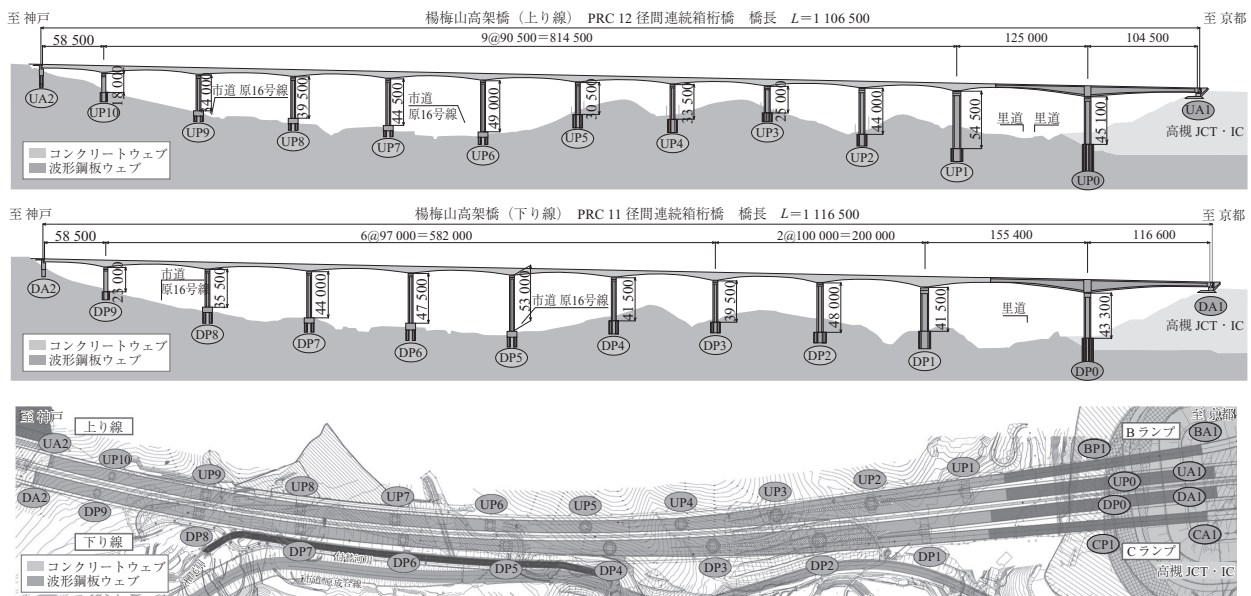


図 - 2 全体一般図

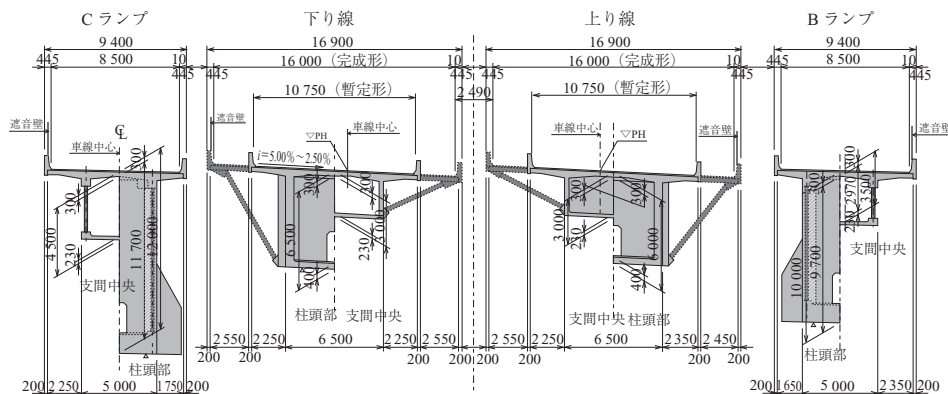


図 - 3 標準断面図

けて本線部およびランプ部へと分岐している。

また本線、ランプとも UP1、DP1 から起点への支間でコンクリートウェブ構造から波形鋼板ウェブ構造へと変化しており、それらも横桁を介して接続されている。なお、下り線本線の側径間長は 116.6 m を有し、張出し施工長が 86.4 m に達する規模である。このような大規模橋梁の特徴的な部位についての設計や工期を守るために実施した施工の合理化の内容を以降に記述する。

3. コンクリートウェブ部の設計・施工

3.1 柱頭部の施工

上下線で 19 橋脚分が該当するコンクリートウェブ区間の柱頭部は、桁高が 6.0~10.0 m、1 橋脚あたりのコンクリート数量が 280~1 750 m³ とさまざまであり、打設リフト割りは数量に応じて 2~5 回とした。2 室および 3 室箱桁区間の最終リフトでは、打設リフトの制約上、床版のみの打設となることから、温度解析を実施して既設のコンクリートウェブによる外部拘束ひび割れが過大にならないように膨張材を使用した。3 室箱桁構造となる UP1、DP1 橋脚の柱頭部外観を写真 - 1 に、DP1 の打設リフト割りを図 - 4 に示す。



写真 - 1 3室箱桁部の主桁断面

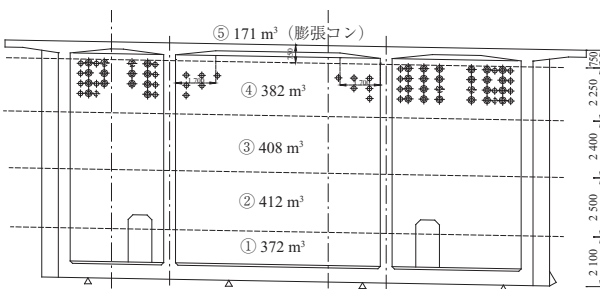


図 - 4 DP1 打設リフト割り

3.2 ブロック割りの変更

前述のように、本橋のコンクリートウェブ区間は一部の区間で幅員変化をともなった張出し施工となり、UP2 橋脚での張出し施工では張出し最終ブロックでの起点側と終点側の幅員差が 4.0 m に達する。このためブロック数の設定は、張出しの重量差によるアンバランスモーメント、左右のブロック数の差による張出し鋼材の定着方法、隣接する張出し施工の施工長などを考慮して適切に設定する必要がある。当初計画では上下線とも P2 橋脚の張出し施工に仮支柱を設けることでこれらの課題を解決していたが、現地の地形などの条件を考慮すると施工に時間を要することが懸念された。そこで詳細設計では、張出し施工によるアンバランスモーメントは各橋脚で平均的に負担するようにブロック割りと施工長を設定し仮支柱を省略した。上り線のブロック割りに関する当初計画と変更後の比較を図 - 5 に示す。

3.3 高強度 PC 鋼材の採用

本橋はコンクリートウェブ区間の最大支間が 100 m に達するうえ、将来的な完成時の拡幅への対応も計画されているので多数の完成外ケーブルを必要とする。加えて下部工の引き渡し時期が当初計画から変更になったため、工程を守るために当初工程より張出し施工の存置期間を短くして、短期間で多数の張出し施工や閉合を行う必要があったので、自重クリープによる支間中央の正曲げモーメントも大きくなりこれを助長する傾向があった。完成外ケーブル数が増えると、本橋のように規模が大きい場合は、偏向部での偏向管配置にとまなう孔数が増加するだけでなく、多段配置となったり、鋼材の配置作業や緊張回数が増加するなど構造的な不具合や施工性の低下を招く要因が増える。そこで、詳細設計では、完成外ケーブルを当初計画で使用を予定していた普通強度 19S15.2 より 3 割ほど強度が高い高強度エポキシ被覆ストランド 19S15.7 に変更し、配置本数を低減した。使用した高強度エポキシ被覆ストランドの機械的性質を表 - 1 に、高強度鋼材使用による偏向部の比較を図 - 6 に示す。

表 - 1 高強度鋼材の機械的性質

	引張荷重	降伏荷重	伸び	公称断面積	単位質量
	kN 以上	kN 以上	% 以上	mm ²	kg/m
高強度エポキシストランド φ 15.7	335	285	3.5	150	1.180 ※
普通強度ストランド SWPR7BL φ 15.2	261	222	3.5	138.7	1.101

※被覆前

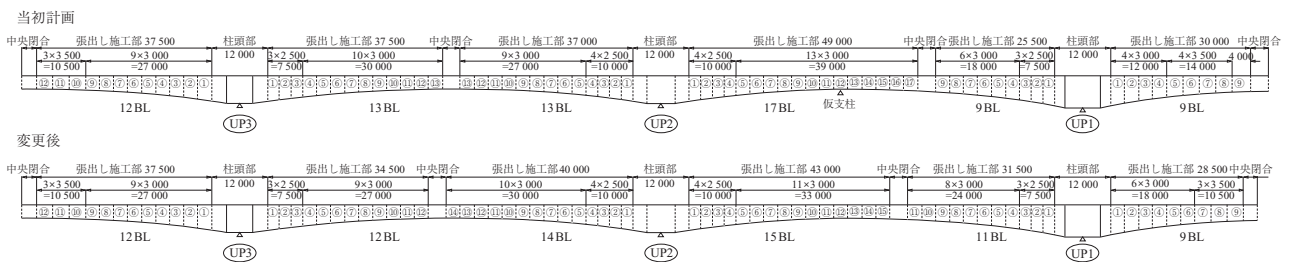


図 - 5 ブロック割りの比較

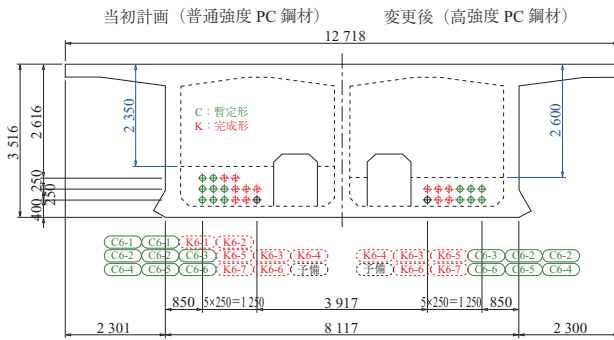


図 - 6 偏向部の比較

3.4 張出し施工

本橋は幅員の変化をとめないながら箱桁の室数が1室～3室へ中央閉合部の隔壁を介して順次変化する構造であることから、移動作業車も2主桁標準タイプから4主桁拡幅タイプまでを橋脚ごとに使い分けた。UP1、DP1橋脚では支点横桁部で本線とランプに主桁が分岐する構造であるため、終点側は4主桁拡幅タイプ、起点側は2主桁標準タイプを2基使用した(写真-2)。

また、下部工引き渡し時の変更に対応しながら工期を満足するため、多数の橋脚で同時に張出し施工を実施する必要があり、最盛期には合計32基の移動作業車を同時に稼働させた。このような施工状況下では閉合間近になると移動作業車どうしの干渉などが問題となる。ひとつの計画不



写真 - 2 DP1の張出し施工状況



写真 - 3 最盛期の張出し施工状況

備やトラブルなどによる遅延が連鎖的に以降の作業に影響するため、綿密な工程管理を実施し、施工ステップに変更が生じた場合は直ちに詳細設計に反映することで、工程遅延要素の排除と品質の確保に努めた。最盛期の張出し施工状況を写真-3に示す。

また、中央閉合は工期を短縮するため移動作業車で実施した。中央閉合では両側からの張出された主桁が負担する閉合部の主桁荷重および移動作業車荷重の分担、閉合部の架設資材の剛性や固定方法などを上げ越し計算モデルに適切に反映させることで高さ管理の精度を確保した。

4. 波形鋼板ウェブ部の設計・施工

4.1 柱頭部施工の合理化

ランプ部の波形鋼板ウェブ区間のBP1・CP1橋脚は供用に向けたクリティカルパスとなったため、柱頭部施工において全体工程の短縮に取り組んだ。

上記2橋脚の柱頭部はBP1で10m、CP1で12mの桁高を有していたため、打設リフト割りを4回として計画していたが、このうち、第2・第3リフトの鉄筋の一部をプレファブ化し、一括架設することで工程短縮を図った。鉄筋のプレファブ化の概要図を図-7に示す。プレファブ鉄筋の重量は打設リフトに応じて3.5～8.5t程度となった。組立て作業は、CP1橋脚の近傍に確保した組立てヤードで行った。CP1橋脚においては組立てヤードから200t級クレーンで一括架設し、BP1橋脚においては15tトラックで場内運搬ののち、架設した。写真-4に場内運搬の状況を示す。

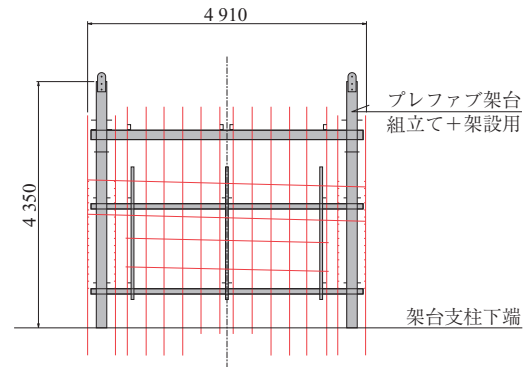


図 - 7 鉄筋のプレファブ化概要図



写真 - 4 プレファブ鉄筋の場内運搬状況

また、鉄筋のプレファブ化に加えて鉛直方向鉄筋の重ね継手の位置を、設計における必要鉄筋量を考慮して調整したことによりコンクリート打設時の作業性が向上した。さらに、組立て架台が鉄筋組立て時にガイドの役割を果たしたことによって組立て精度および作業性の向上も図ることができた。この結果、各橋脚で8日間の工程短縮を実現できた。プレファブ鉄筋の架設状況を写真 - 5, 6 に、重ね継手位置の変更概要を図 - 8 に示す。



写真 - 5 プレファブ鉄筋吊上げ状況



写真 - 6 プレファブ鉄筋設置状況

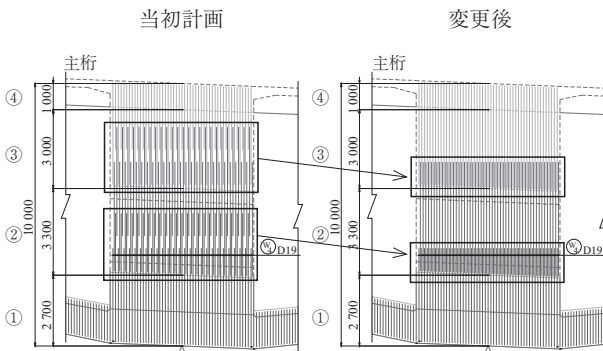


図 - 8 重ね継手位置の変更概要

4.2 急速施工方法の採用

起点側の2径間は上下線とも本線部およびランプ部の両

者の支間長が長い（上り線本線 125.0 m, 下り線本線 155.4 m）ことから、自重低減を目的として波形鋼板ウェブ構造が採用されている。一般的な波形鋼板ウェブ構造の張出し施工では、波形鋼板の架設、下床版および上床版コンクリート打設の3工程が同一施工箇所となるため、各工程の並行作業が困難である。波形鋼板ウェブ部は全体工程のクリティカルパスとなるうえ、張出し施工の最大施工長が86.4 mに達するので、ここでの工期短縮が重要であった。そこで波形鋼板上に移動作業車を設置して、複数ブロックで同時作業による効率化が可能な急速施工方法（Rap-Con 工法）を採用した。図 - 9 に同工法の施工サイクルを示す。また、同工法では張出し施工のブロック長を4.8 mに延長できるためブロック数の低減に効果がある。本橋では標準的な工法では上り線が20ブロック、下り線が22ブロックになるところを、それぞれ17ブロックと18ブロックに低減した。これらの効果により、1橋脚あたり約50日間の工程短縮を実現した。

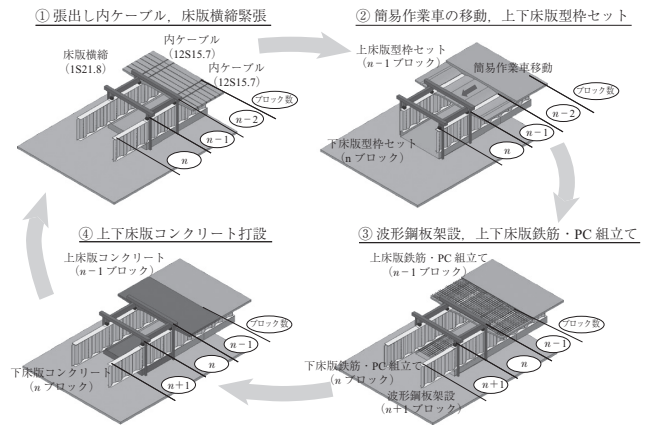


図 - 9 Rap-Con 工法の概要

4.3 高強度 PC 鋼材の採用

本橋では前述したとおりコンクリートウェブ区間の完成外ケーブルに高強度 PC 鋼材を採用したが、波形鋼板ウェブ区間においても高強度 PC 鋼材を使用し合理化を図った。波形鋼板ウェブ区間は最大張出し施工長が86.4 m となるため、当初計画では毎ブロックに配置した内ケーブル 12S15.2 だけでは必要量を満足せず、19S15.2 による張出し外ケーブルも併用していた。張出し外ケーブルは定着突起の施工や鋼材配置、緊張などで施工サイクル日数に大きく影響を与える。そこで、詳細設計では張出し内ケーブルに高強度 PC 鋼材 12S15.7 を用いて、内ケーブルの不足分を補う外ケーブル本数を減らすこととした。この対応によりランプ部では当初計画では張出し外ケーブルが配置されていたブロック数が上下線とも9BL分（18本）であったのに対して、詳細設計で4BL（8本）まで減らすことができた。なお、張出し外ケーブルに関しては、波形鋼板ウェブ構造での使用実績を考慮して普通強度 19S15.2 を用いている。図 - 10 に CP 1 橋脚柱頭部での張出しケーブルの配置比較を示す。

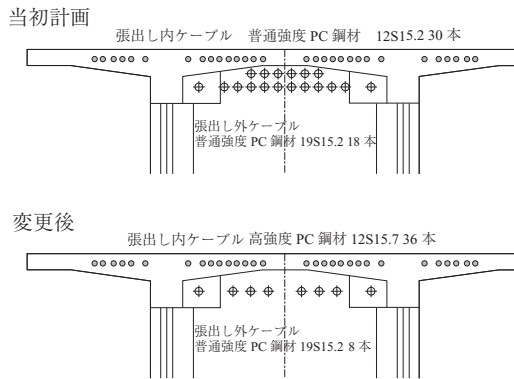


図 - 10 CP1 張出しケーブル配置の比較

4.4 張出し施工

張出し施工の状況を写真 - 7 に示す。下り線の張出し架設では桁高が 12.0 m から 4.5 m まで変化するため、5 ブロック程度に 1 回、作業足場をリフトアップして施工性を維持した。また橋面上に 25 t ラフタークレーンを設置することで波形鋼板の架設や外ケーブルの挿入などの作業性の向上を図った。

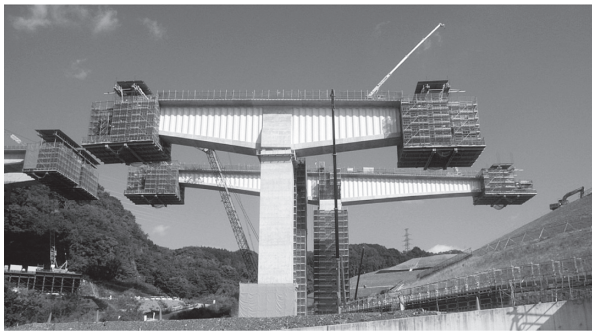


写真 - 7 張出し施工状況

4.5 側径間の施工

A1 橋台が位置する高槻 JCT・IC の高盛土は、本橋と並行して施工されていたため、側径間施工時はまだ盛土の沈下が収束しておらず、側径間の施工中も沈下が確認された。側径間は支保工施工で計画されていたので、施工中に盛土が沈下すると、橋台と支保工基礎地盤の沈下量に差が生じたり、張出し施工側の主桁と高さが合わなくなるなど主桁形状に不具合が生じることが懸念された。そこで、くさび式支保工とジャッキアップ機能を有する大口径支柱を組み合わせた支保工 (図 - 11) を採用して、施工時に高さ調整

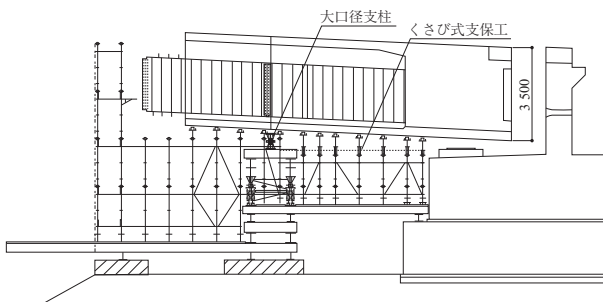


図 - 11 側径間支保工計画図

を可能にすることで、主桁出来形の規格値を満足させた。写真 - 8 に側径間支保工の施工状況を示す。なお、端支点横桁は供用開始後も長期にわたる沈下にも対応できるようにジャッキアップできる構造としている。

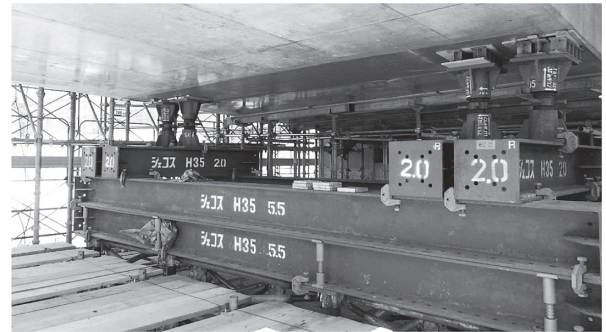


写真 - 8 側径間支保工施工状況

5. おわりに

本稿では楊梅山高架橋における工事の特徴および工期を守るために実施した設計・施工面での対策について述べた。平成 25 年 1 月より詳細設計を開始した本工事は、橋長 1100 m を超える非常に大規模かつ複雑な構造形式の橋梁を厳しい制約・施工条件のもと進めなくてはならなかった。最初の脚頭部施工に着手した平成 26 年 9 月から約 3 年半経過した平成 29 年 11 月に無事、一部竣工を迎えており、現在は残された波形鋼板ウェブ部の本線部のみを鋭意施工中である (写真 - 9)。本報告が同種橋梁施工の参考になれば幸いである。



写真 - 9 現 況

参考文献

- 1) 大八木, 小柳, 楠村, 片: 新名神高速道路 楊梅山高架橋の施工, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.623-626, 2017.10.

【2017 年 12 月 14 日受付】