

東海北陸自動車道 坪佐橋の設計・施工

野口 彰宏*1・山本 将*2・山口 茂*3・中積 健一*4・浅井 学*5

1. はじめに

坪佐橋は、平成20年7月に全線開通した東海北陸自動車道の4車線化工事に伴い、岐阜県の郡上八幡ICとぎふ大和IC間に建設されるPC3径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋とPRC7径間連続2主版桁橋を連続化した橋梁である。本工事は、基礎工（ニューマチックケーソン基礎1基、大口径深礎杭基礎1基、深礎杭基礎1基、場所打ち杭基礎5基、直接基礎2基）、橋脚9基、橋台1基を含む上下部工事である。

本橋では、波形鋼板ウェブ橋を架設するのに波形鋼板を架設材として利用して移動作業車で張出し架設を行う合理化施工法¹⁾（以下、Rap-Con工法と称す）を採用し、本工法に新たな工夫を加えた。

本稿は、下部工の工事概要と上部工の設計・施工を中心に述べる。

2. 橋梁概要

本橋の全体一般図を図-1に示す。また、断面図を図-2

に、橋梁概要を以下に示す。

工事名：東海北陸自動車道坪佐橋工事

工事場所：岐阜県郡上市八幡町有坂～瀬原

工期：平成18年10月7日～平成21年2月22日

構造形式：PRC7径間連続2主版桁橋

+ PC3径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋

橋長：500.0m

支間割：37.8m + 38.5m + 41.0m + 4@36.6m + 78.5m + 121.5m + 33.5m

有効幅員：9.06m

平面線形：R = 1500m

縦断勾配：3.6～2.7%

横断勾配：2.5～3.0%

本橋の特徴を以下に示す。

1) 2主版桁橋と波形鋼板ウェブ箱桁橋の連続構造

既設の1期線は7径間と3径間の2つの橋梁に分かれており、掛違い部には伸縮継手が設置されている。

これに対し今回新設する2期線では、2主版桁橋と波形鋼板ウェブ箱桁橋という異なる橋梁構造形式を連続化して

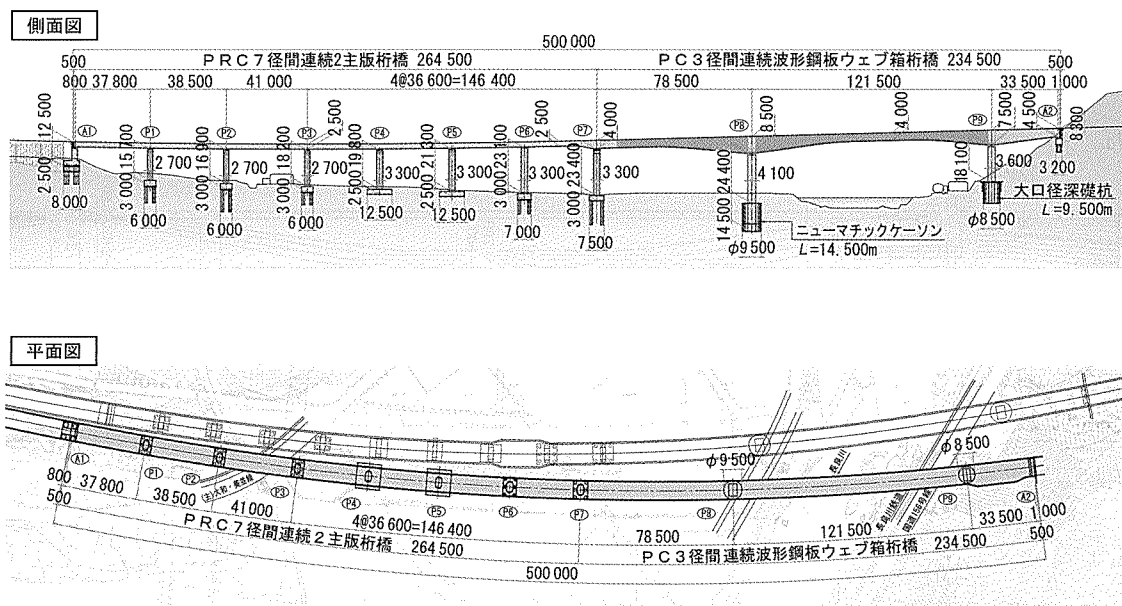


図-1 全体一般図

*1 Akihiro NOGUCHI：中日本高速道路(株)名古屋支社 建設事業部 計画設計チーム サブリーダー

*2 Susumu YAMAMOTO：(株)高速道路総合技術研究所 交通環境研究部 保全研究室

*3 Shigeru YAMAGUCHI：中日本高速道路(株)名古屋支社 岐阜工事事務所 八幡工事長

*4 Kenichi NAKATSUMI：三井住友建設(株)土木本部 土木設計部 課長

*5 Manabu ASAI：三井住友建設(株)中部支店 坪佐橋作業所 主任

伸縮継手を省略し、走行性の改善とメンテナンスの向上を図った。

2) P9-A2 側径間の構造と施工

P9-A2 側径間は、支間割りの関係から端支点到に負反力を発生させない目的で、コンクリートウェブ構造を採用した。架設工法は、固定支保工に替えて、張出し架設に変更し、別工事である A2 橋台の完成を待たずに張出し架設を開始することにより、全体工程の短縮と地形改変面積の削減、国道近接の安全性の向上を図った。側径間完了後、桁内にカウンターウェイトを打設し、P8 側の架設作業車による張出し架設を行った。

3) Rap-Con 工法の改良

波形鋼板ウェブ箱桁橋の張出し架設鋼材は、内ケーブルを使用した。そのため、床版の施工にこれまでの Rap-Con 工法で使用していた PC 板を使用せず、プレキャストリブに型枠を支持させ、床版コンクリートを打設する方法を採用し、施工の合理化を行った。また、本工法において初めて架設作業車に波形鋼板およびプレキャストリブの吊装置を装備し、揚重作業の改善を図った。

3. 設計概要

3.1 2 主版桁部

PRC 2 主版桁は固定支保工架設とし、2 径間ごとにコンクリートの打設と緊張作業を連続して行う。主桁の縦締め PC 鋼材は、1S28.6 のプレグラウト鋼材を採用しており、支間長が 41 m ともっとも長い P2-3 径間には、1 主桁あたり最大 26 本が中間支點付近の小口断面で定着し、支間中央部のウェブ厚より大きく設定した。また、PC 鋼材は中間支點部でたすき掛け配置とした (図 - 3)。本橋の主桁応力度の制限値は、架設位置が寒冷地であるため、凍結防止剤散布による塩害劣化のおそれのある腐食性環境として、死荷

重時および設計荷重時ともにひび割れ発生限界以内とした。

床版横締め鋼材はプレグラウト鋼材 (1S19.3) を 750 mm ピッチで配置し、活荷重作用時に床版の応力度をひび割れ発生限界以内とした。

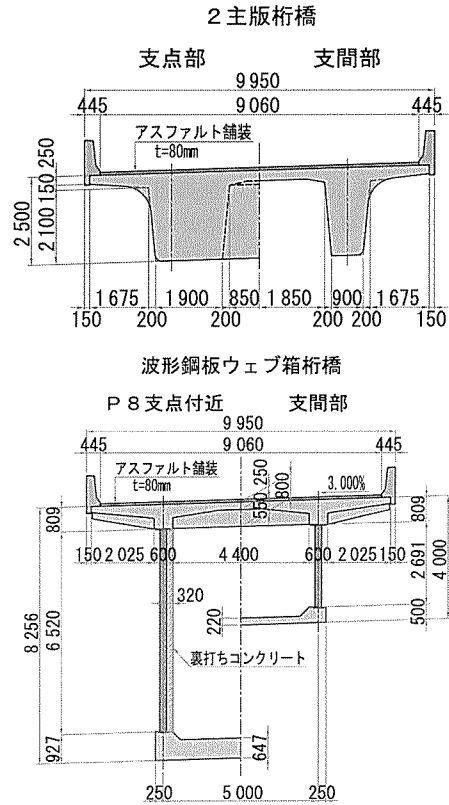


図 - 2 断面図

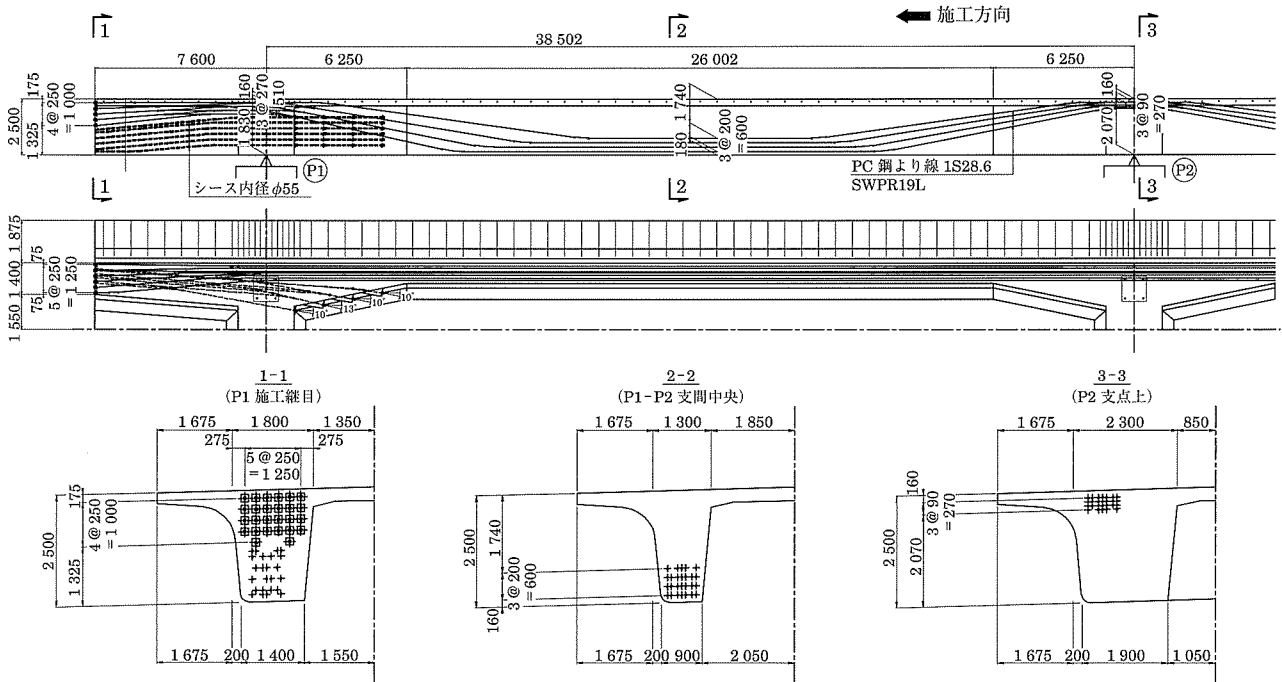


図 - 3 PC 鋼材配置図 (P1 - P2 径間)

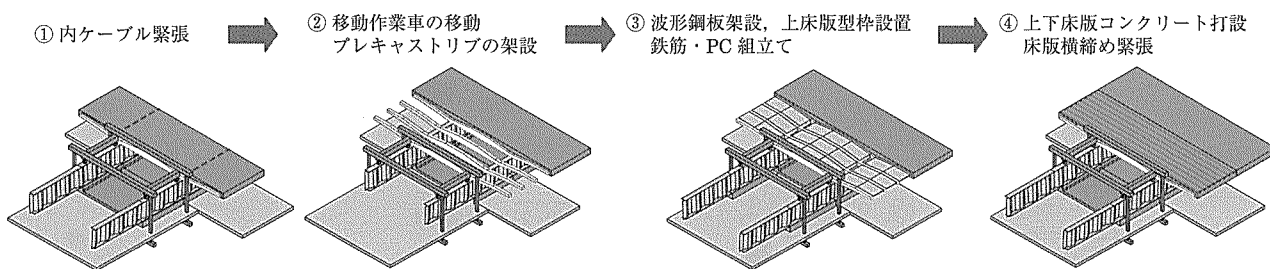


図 - 4 Rap - Con 工法の施工サイクル

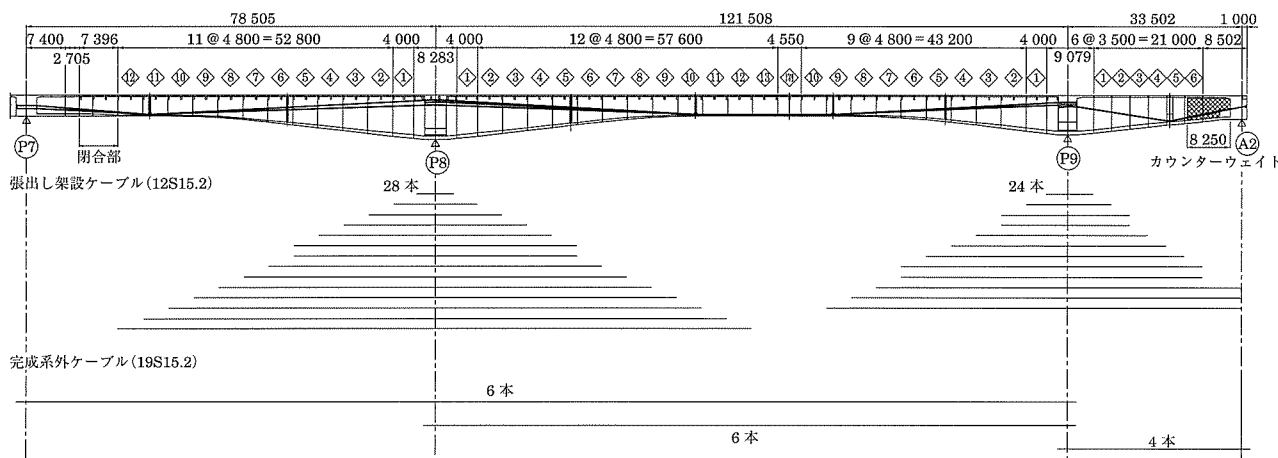


図 - 5 箱桁部のブロック割と PC 鋼材配置概念図

3.2 箱 桁 部

P7からP9までの2径間は波形鋼板ウェブ箱桁構造であり、P9 - A2間の側径間は支間割りの関係から支間長が短いためコンクリートウェブ箱桁構造とした。

(1) 波形鋼板ウェブ箱桁部

波形鋼板ウェブ箱桁部は、従来の標準的な工法と比べ大幅な工程短縮が図れる Rap-Con 工法の採用を検討した。検討の結果、これまでの本工法と同様にプレキャストリブを使用し、リブに型枠を支持させる方法が経済的にも優位であることから採用に至った。本工法の施工サイクルのステップを以下に示し、その概念図を図 - 4 に示す。

STEP - 1 : 内ケーブル緊張

STEP - 2 : 移動作業車の移動、プレキャストリブの架設

STEP - 3 : 波形鋼板架設、上床版型枠設置、上・下床版鉄筋・PC組立て

STEP - 4 : 上・下床版コンクリート打設、床版横締め緊張

本工法の採用により、1ブロック長をすべて4.8mとすることによりブロック数を低減できた。張出し架設ケーブルの内ケーブル(12S15.2)は、小口に最大4本定着し、P8中間支点上の総配置本数は28本である。張出し架設・中央閉合完了後の完成系ケーブルは、外ケーブル(19S15.2)を最大12本配置した。箱桁部のブロック割およびPC鋼材配置概念図を図 - 5 に示す。

本工法の上床版はリブ付き床版構造である。プレキャストリブは、ブロック長の半分の2.4m間隔で配置しており、上床版の打設荷重をRC構造として負担できる最小な形状

とした。プレキャストリブ1本あたりの重量は約3tである。

完成系で必要となる床版横締め鋼材はプレグラウト鋼材(1S19.3)を750mmピッチで配置し、活荷重作用時に床版の応力度をひび割れ発生限界以内とした。

(2) コンクリートウェブ箱桁部

側径間のコンクリートウェブ箱桁部の架設工法は、固定支保工に替えて、張出し架設工法に変更した。これにより、別工事であるA2橋台の完成を待たずに張出し架設を開始することができ、また全体工程の短縮と地形改変面積の削減、そして国道近接の安全性の向上を図った。

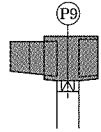
P9 - A2径間部の施工要領図を図 - 6 に示す。P9のA2側の張出し施工が終了して側径間を閉合後、P9 - A2間の桁内にカウンターウェイトを打設する。その後、P8側の波形鋼板ウェブ部の張出し架設を行う手順とした。張出し架設ケーブルの内ケーブル(12S15.2)は、P9中間支点上の総本数で24本である。

3.3 連 続 部

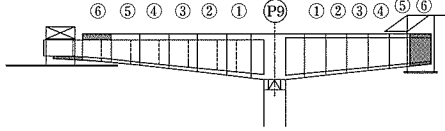
2主版桁橋と波形鋼板ウェブ箱桁橋が接続する位置は、P7橋脚であり、橋梁全体のほぼ中間に位置する。連続化して伸縮継手を省略することにより、走行性の改善と維持管理性の向上を図っている。

主桁の断面形状が異なる構造同士を連続させる場合、鋼とコンクリートといった異種材料を接続させる実績が多かった。本橋の連続部では、図 - 7 に示すようにC区間とD区間をコンクリート箱桁構造として断面急変を最小とした。また、桁高が2主版桁部の2.5mから箱桁部の4.0mへ変化するため、A区間の2主版桁部で5mの桁高変化区間を

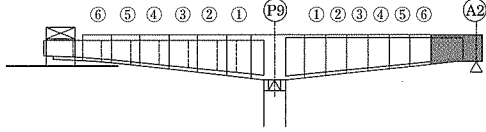
STEP-1 P9 柱頭部施工



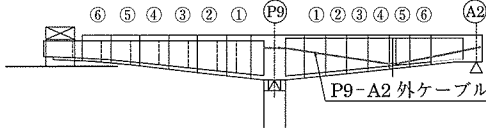
STEP-2 P9 張出し施工(1BL~6BL)



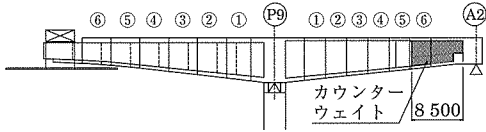
STEP-3 P9-A2 側径間施工



STEP-4 P9-A2 外ケーブル緊張



STEP-5 カウンターウェイト打設



STEP-6 P8-P9 径間張出し施工(7BL~10BL)

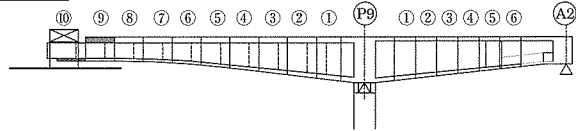
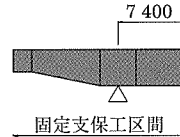
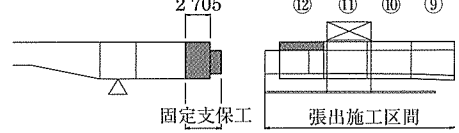


図-6 P9 - A2 間の施工手順

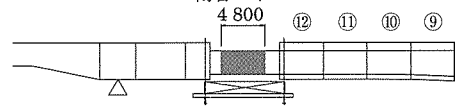
STEP-1 P5-P7 径間施工 (PRC 2 主版桁部)



STEP-2 D 区間施工



STEP-3 閉合パネル施工



STEP-4 閉合部上下床版施工

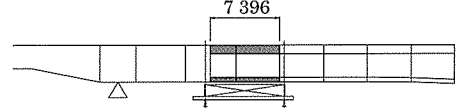


図-8 連続部の施工手順

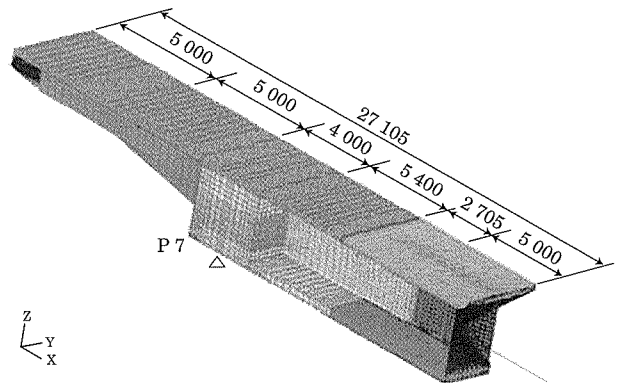


図-9 FEM 解析モデル図

本橋の連続部は、桁高や断面変化が連続しかつ施工手順も考慮して3次元FEM解析を実施した(図-9)。なお、桁高や断面変化する区間の約30mを忠実にモデル化した。

検討の結果、外ケーブル緊張によりコンクリート箱桁部(区間D)と波形鋼板ウェブ箱桁部(区間E)の境界付近において局所的な引張応力が作用したため、鉄筋にて補強を行った。その他の部位においては、断面変化の区間長を大きく設定し断面急変を最小とした結果、断面力が適切に伝達されることを確認した。

4. 基礎工・橋脚工の施工

本橋の施工範囲は、橋梁部500mと補強土壁工や附帯工を含む、上下部工の工事である。2主版桁部の基礎工は場所打ち杭基礎と直接基礎形式で、橋脚はインターロッキング橋脚である。一方、箱桁部の基礎工はニューマチックケーソン基礎(P8)と大口径深礎杭基礎(P9)であり、両橋脚とも充実矩形断面形状である。

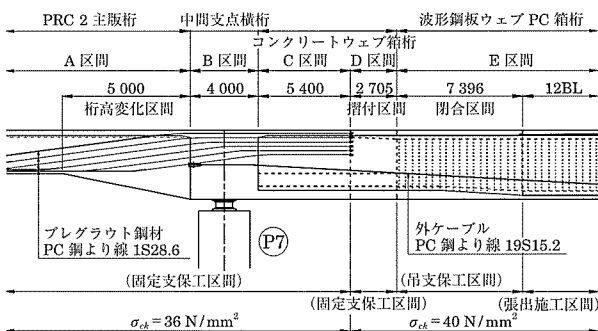


図-7 連続部の構造

設けた。P7支点上の負の曲げモーメントに対しては、2主版桁部からのプレグラウト鋼材(1S28.6)が有効となる位置(横桁から5.4m)まで延長して小口で定着した。一方、箱桁部からの完成系の外ケーブル(19S15.2)は、P7支点横桁で定着した。連続部の施工手順図を図-8に示す。2主版桁部となるP7横桁から5.4m区間の箱桁部(A~C区間)を固定支保工で先行し $\sigma_{ck} = 36 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートを打設する。その後、摺付区間(D区間)を固定支保工で $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ のコンクリートを打設し張出し施工部の波形鋼板ウェブで閉合して連続する。

4.1 ニューマチックケーソン基礎 (P8)

P8 橋脚付近の地盤条件は、支持層が地下表面下 10 m にあり、径 50 cm を超える礫 (玉石) が存在し、地下水位が

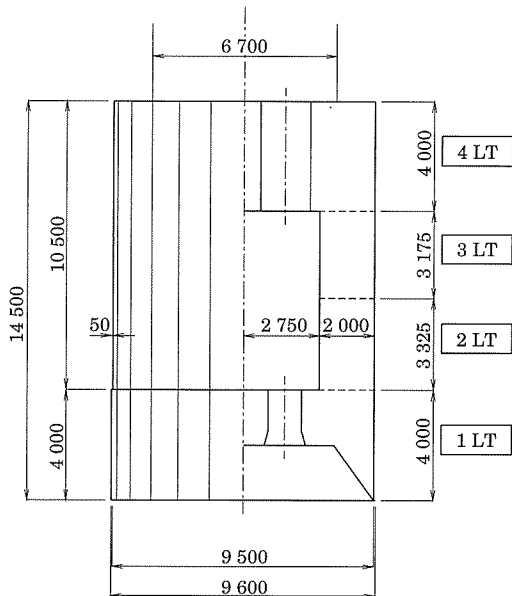


図 - 10 ニューマチックケーソン基礎のロット割

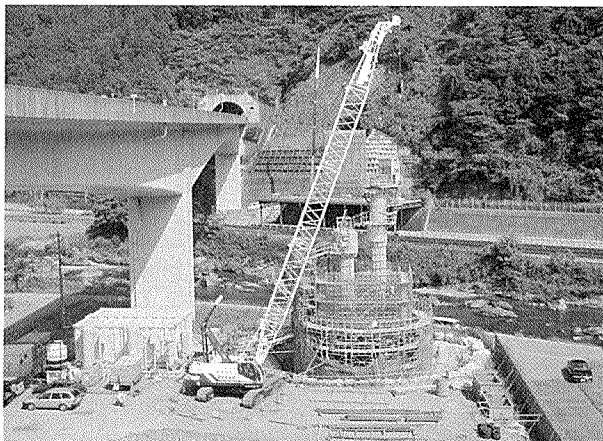


写真 - 1 ニューマチックケーソン基礎 (P8)

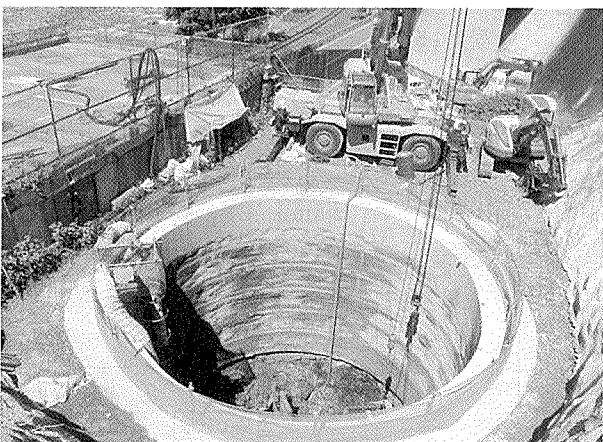


写真 - 2 大口径深礎基礎 (P9)

地表面近くまで高く、水量も多い。基礎形式の比較検討の結果、ニューマチックケーソン基礎がもっとも経済性に優れた。基礎の断面形状は、直径 ϕ 9.5 m、長さが 14.5 m であり 4 ロットに分割した (図 - 10)。

ケーソンの作業ヤードの造成・整地後、刃口金物を据え付けた。作業室 (第 1 ロット: 4 m) を構築した後、艀装を行い、ケーソンの沈下掘削を行った (写真 - 1)。掘削と並行しながらケーソン部の構築を繰り返した。ケーソンを所定の深度まで下げて地盤の地耐力を確認後、函内の設備を撤去し作業室内をコンクリートで充てんした。

4.2 大口径深礎基礎 (P9)

P9 橋脚付近の地盤条件は、支持層と地表面がほぼ一致し、支持層が傾斜している。基礎形式を比較検討した結果、大口径深礎杭がもっとも経済性に優れた。基礎の断面形状は、直径 ϕ 8.5 m、長さは 9.5 m である。

掘削はバックホウと人力にて行った。排土はバックホウを使用して土砂バケツに掘削残土を積み込み、土砂バケツを坑外に設置しているクレーンで搬出した (写真 - 2)。なお、掘削の途中で地山の状況に応じて発破作業による掘削を行った。国道が近接しているため、防爆シートにより深礎掘削部を完全に覆い、飛び石による飛来落下事故を防止した。また、発破後既設構造物や軌道の目視・測量による点検と発破振動を計測し、影響度を確認しながら施工を行った。

山留め作業は掘削終了後、① 1 次吹付けコンクリート → ② 補強リングの取付け → ③ 2 次吹付けコンクリート → ④ ロックボルトの手順で行った。

掘削が床付けまで完了後、地盤の地耐力を確認し、鉄筋組立てコンクリートを打設した。

4.3 橋脚工

P1 ~ P7 のインターロッキング橋脚は、P1 ~ P3 が幅 2.7 m、P4 ~ P7 の 4 橋脚が幅 3.3 m のそれぞれ同形状の橋脚である。図 - 11 に幅 3.3 m の配筋図を示す。このため、2 タイプの鋼製型枠を用意し転用した。P8 と P9 の矩形断面橋脚は、断面寸法は異なるが鋼製型枠を用い P9 橋脚を先行し、P8 橋脚はこれを転用し調整枠を用いて対応した。完成した橋脚を写真 - 3 に示す。

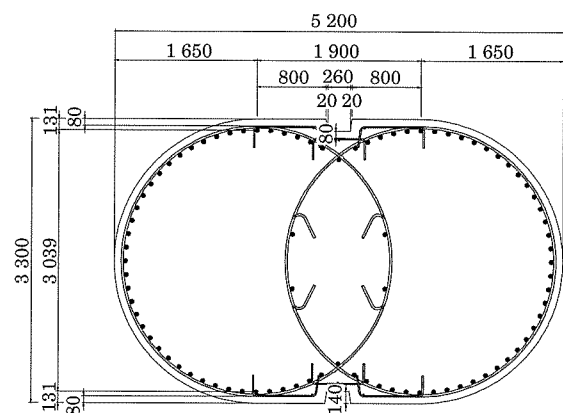


図 - 11 インターロッキング橋脚 (P4 ~ P7)

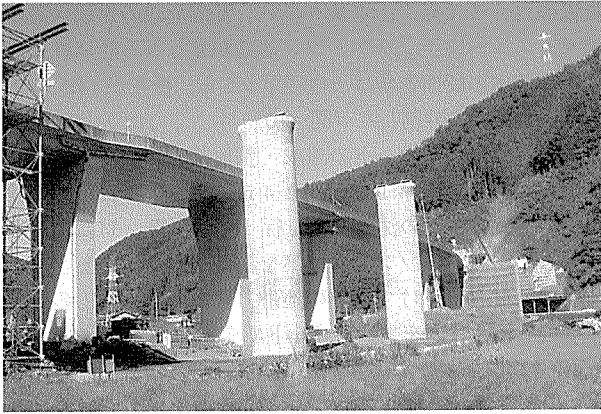


写真 - 3 橋脚工

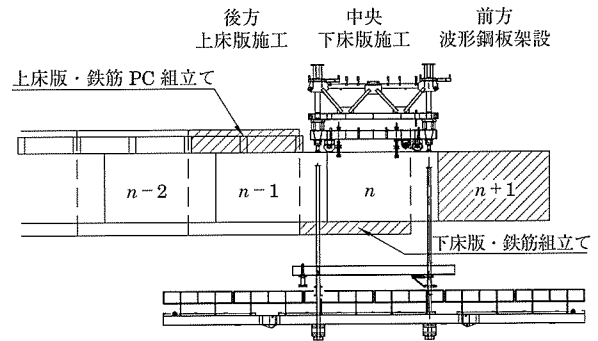


図 - 13 Rap-Con 工法の施工状況図

5. 上部工の施工

5.1 2主版桁部

2主版桁部の縦締め PC 鋼材は 2 径間連続ケーブルであるため、型枠、鉄筋、PC の組立ては 2 径間ごとに行った。コンクリートの打設は、施工ヤードが狭いためポンプ車を 2 台しかセットできない。このため、2 径間分の約 900 m³ を 1 日で打設することは困難のため、図 - 12 に示すように、中間に施工継目を設け、2 回に分けて打設を行った。施工継目は、2 回目の打設時における支保工の沈下が、1 回目に打設したコンクリートへ与える影響が小さくなる位置に設けた。これにより、1 回の最大打設量は約 540 m³ となり、ポンプ車 2 台で打設した。

コンクリートは、起点側から橋軸方向に約 10 m ごとにウェブ、上床版の順序で打設を行った。本橋の桁高は 2.5 m と比較的高いため、ウェブを 3 層に分けながら入念にバイブレータを用いて締め固めた。

5.2 波形鋼板ウェブ箱桁部

(1) 張出し施工の合理化施工

波形鋼板ウェブ箱桁部は、波形鋼板を架設材として利用して張出し施工を行った。波形鋼板を先行架設し、その上に移動作業車を設置する。移動作業車の前方ブロックでは、波形鋼板を架設し、中央ブロックでは下床版の施工を、後方ブロックでは上床版の施工を同時に行うことができる(図 - 13)。移動作業車の後方での上床版の施工は、プレキャストリブを用いるが、張出し架設ケーブルに内ケーブル

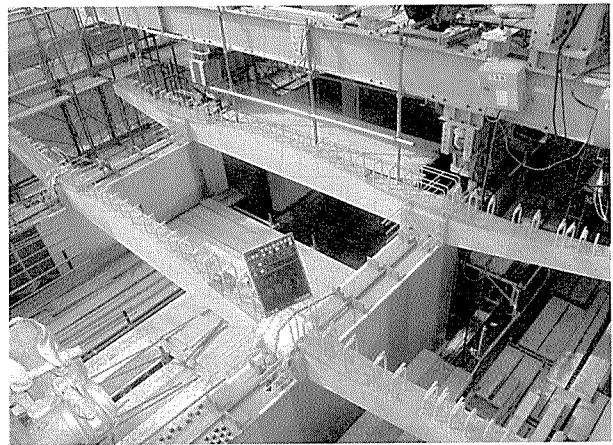


写真 - 4 プレキャストリブの設置状況

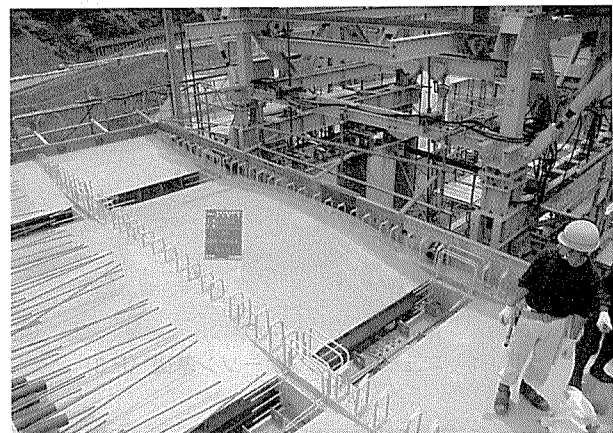


写真 - 5 上床版の底版型枠設置状況

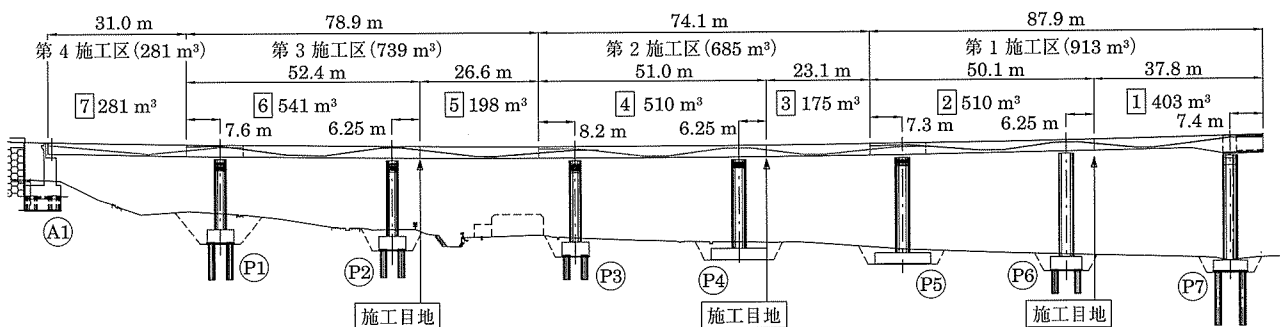


図 - 12 2 主版桁部の打設割

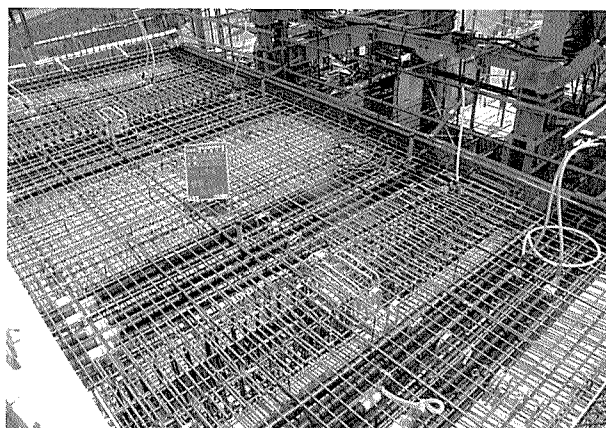


写真-6 上床版鉄筋・PC組立て完了

を使用しているため、これまでのRap-Con工法で使用していたPC板は使わず、プレキャストリブに上床版の底版型枠を支持させ、コンクリートを打設した。これにより、移動作業車は上床版の打設荷重を負担しない構造とした。

写真-4にプレキャストリブの設置状況を、写真-5に上床版の底版型枠の組立て完了状況を示す。なお、プレキャストリブは工場製作し現場までトレーラにて運搬した。

プレキャストリブには、型枠やコンクリート荷重を支持するためのインサートを設置した。インサートに治具を取り付け、治具を介して型枠全体を吊る構造とした。

型枠組立て完了後、床版鉄筋、張出し架設ケーブル用のPEシースおよび横締めPC鋼材を配置し(写真-6)、上床版コンクリートを打設した。

(2) 下床版接合部のコンクリート充てん性向上について

本橋の下床版と波形鋼板ウェブの接合はシングルPBL+スタッド接合を採用した。下床版コンクリートの打設にあたり、下フランジ下面は逆打ちであること、また桁内側からの打設により中央のシングルPBLが堰き止めて桁外側にコンクリートが充てんされないのではないかと懸念された。

そこで下フランジ界面の気泡を除去するために、実物大の充てん性確認試験を行った。その結果、スペーシングナイフをフランジ下面で抜き差しすることにより気泡を除去できる効果を確認した。さらに、桁外側の充てん性を向上させるため、スペーシングナイフはスタッドの裏側にも届くようにL形のものを使用した(図-14)。

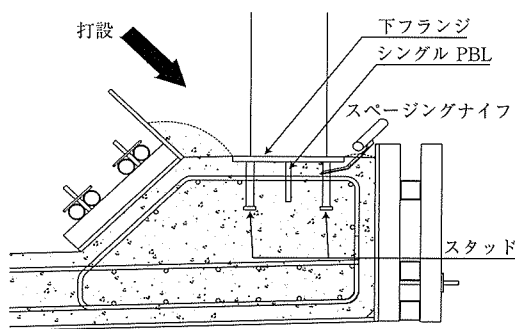


図-14 下床版接合部打設状況図

(3) 波形鋼板の架設

P8-P9径間の交差条件は、長良川および国道156号が並列しているため、波形鋼板やプレキャストリブの架設にあたってはラフタークレーンを用いることができない。また、橋面上にラフタークレーンを常備しておくことも不経済となる。そこで本橋では、2基の電動チェーンブロックを移動作業車に設置し、波形鋼板やプレキャストリブの設置を行った。

波形鋼板とプレキャストリブは、柱頭部から移動作業車の手前までフォークリフトで橋面上を運搬した。波形鋼板については、移動作業車を通過して張出しブロック先端まで運搬し、向きも90度回転させなければならないため、電動チェーンブロックはトローリーにより前後左右に移動できる構造とした。波形鋼板の設置状況を写真-7に示す。

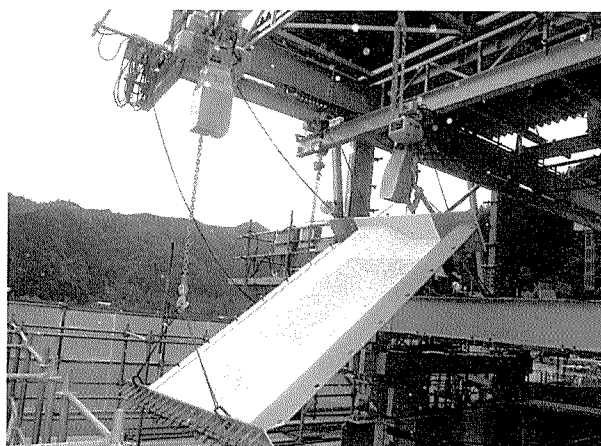


写真-7 波形鋼板の設置状況

5.3 連続部およびP7-P8閉合部

連続部の施工は以下の順序で行った(図-8)。

STEP-1: 2主版桁部からのプレグラウトPC鋼材を定着する位置(P7横桁から箱桁側へ5.4m)までの区間を施工(写真-8)

STEP-2: 波形鋼板ウェブ箱桁部とコンクリートウェブ箱桁部を接合するための擦付区間を施工(擦

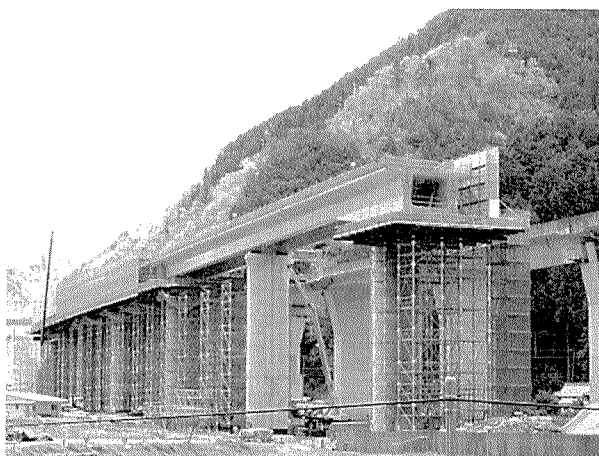


写真-8 P7支点上の施工 (STEP-1)

付区間の小口には波形鋼板を設置)

STEP-3 : P7-P8 閉合部の波形鋼板を先行閉合

STEP-4 : P7-P8 閉合部の上下床版を施工

STEP-1 と STEP-2 は固定支保工により施工を行ったが、STEP-3 において波形鋼板を先行閉合するため、STEP-4 は吊支保工での作業が可能となった。そのため、固定支保工を閉合作業まで存置する必要がなく、施工の省力化を図った。

5.4 コンクリートウェブ箱桁部

P9-A 2 側径間のコンクリートウェブ箱桁部の施工は、以下の順序で行った (図-6)。

STEP-1 : P9 の張出し施工 (写真-9)

STEP-2 : 側径間の閉合

STEP-3 : P9-A 2 間の桁内にカウンターウェイトを打設

STEP-4 : P8 側の波形鋼板ウェブ部の張出し架設

カウンターウェイトは、充てん性を向上させるため、上床版に 1.0 m ピッチで $\phi 70$ のパイプレーター孔と 2.0 m ピッチで $\phi 150$ のホース挿入孔を設けて打設した。それにより、設計数量 (120 m³) のコンクリートを打設した。

5.5 冬季養生

本工事は、P8 柱頭部、P9 柱頭部および P5-P7 径間の 2 主版桁部が冬季の施工となった。冬場の日平均気温は、0℃前後まで低くなるため、打設箇所の温風給熱養生を行った (図-15)。また、打設箇所のプレヒーティングを行って型枠および施工継目を打設前に温めておくことにより、フレッシュコンクリートの急冷を防ぐとともに、新旧コンクリートの温度差を少なくして外部拘束ひび割れを抑制した。



写真-10 国道防護工および防護パネル



写真-9 P9 張出し架設状況



写真-11 PRC 2 主版桁部全景

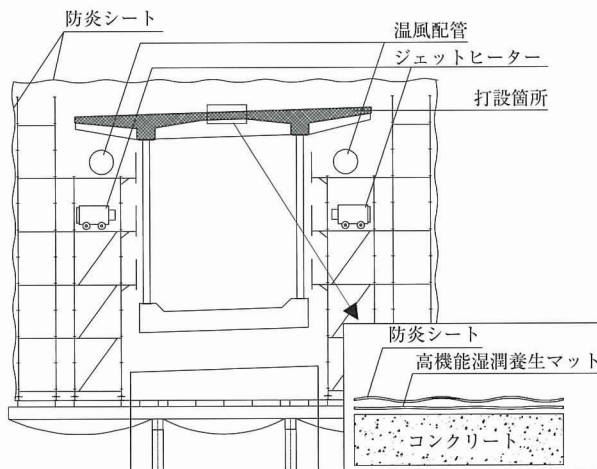


図-15 P9 柱頭部 3 LT 打設時の温風給熱養生



写真-12 波形鋼板ウェブ箱桁部全景

その際、適切な養生状態であるかを確認するため、熱電対を用いて養生温度をリアルタイムで測定した。

5.6 国道上の施工

国道 156 号線の近接作業となる P9 の施工は、落下物に対する安全対策として国道上に H 鋼を用いた防護工を設置した（写真 - 10）。設置作業は夜間を通行止め（10 分 / 回、最大 8 回 / 日）とし、昼間は片側交通規制により行った。

さらに、国道上の移動作業車には足場からの資材落下を防ぐため、側面を防護パネルにて養生を行った（写真 - 10）。

6. おわりに

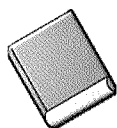
本工事は、Rap-Con 工法の採用により当初予定に比べ約

1 ヶ月早い平成 20 年 11 月初旬に橋体を連結した。そして、平成 21 年 2 月に無事竣工を迎えた。完成写真を写真 - 11、12 に示す。本橋は、波形鋼板ウェブ橋の張出し施工におけるサイクル工程の短縮、作業員の平準化、作業の省力化および安全性の向上を目的として、施工方法の改善を実施した。本稿が、今後の同種工法の橋梁計画における一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 青木, 大谷, 萩原, 廣瀬, 平, 伊藤: 新東名高速道路 赤淵川橋 (下り線) の設計と施工; 橋梁と基礎 vol. 43, 2009.3

【2009 年 4 月 3 日受付】



刊行物案内

第37回 PC 技術講習会テキスト

PC技術・最近の動向

平成21年 2 月

定 価 6,000 円 / 送料 500 円

会員特価 5,000 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