

広幅員リブ付き床版を有する波形鋼板ウェブ橋 の設計・施工

— 新東名高速道路 中一色川橋（上り線） —

萩原 直樹 *1・小山 亮介 *2・金澤 雄治 *3・永元 直樹 *4

中一色川橋は、新東名高速道路が静岡市清水区を通過する箇所位置する5径間連続波形鋼板ウェブ橋である。本橋は片側3車線の区間に位置しており、約17mの広幅員の橋梁であるが、上部工の軽量化と施工の省力化のために場所打ち水平リブ付き床版構造を有する1室箱桁構造を採用した。広幅員1室箱桁構造の採用にあたって、死荷重や活荷重によって床版に発生する応力度のバランスや、張出し施工時に上床版に配置する張出しケーブルの応力伝達範囲および片持ち張出し施工時の温度・収縮応力による張出し床版の先端に発生する引張応力について検討した。本稿ではこれらの検討結果について報告する。

また、本橋の架設では、波形鋼板を先行架設し架設材として用いる施工法を採用して施工ブロック長の長尺化を図っている。さらに、床版のリブ部の配筋について、プレファブ化することにより施工の省力化を図っている。本稿では、これらについても報告する。

キーワード：波形鋼板ウェブ橋、リブ付き床版、広幅員、波形鋼板先行架設

1. はじめに

新東名高速道路は、関東-中部-関西の大都市圏を結ぶ大動脈の信頼性向上や交通需要への対応のため、早期開通が期待されている路線である。中一色川橋は、その新東名高速道路内の清水IC（仮称）と吉原JCT（仮称）の間に位置する5径間連続波形鋼板ウェブ橋である。本橋は片側3車線の区間に位置しており、17.43mの広幅員を有している。

本橋の断面選定においては、上部工の軽量化とともに、構造の合理化、施工の省力化および工期短縮などを総合的に考慮し、リブ付き床版を有する1室箱桁構造とした。また、上部工の架設は片持ち張出し架設工法により行ったが、その際、波形鋼板を先行架設し、その上に簡易作業車を設置、順次移動して施工する施工法を採用した。ただし、これまで同様の施工法を採用した橋梁では、上床版の施工はプレキャストリブとPC板を用いて省力化、急速化を図

てる事例が多く報告されているが、本橋においては資材搬入ルートの関係から約17mのプレキャストリブの搬入が困難であったため、プレキャスト部材を使用せず、水平リブを含むすべてを場所打ちコンクリートにて施工することとした。なお、波形鋼板を架設材として使用する案を採用することにより、移動作業車の能力に関係なく片持ち張出し架設時のブロック長を長くすることが可能となるため、ブロック数を減らせ、施工の省力化、工期短縮に有効であると考えられた。

本稿では、上記の特徴を有する本橋の設計・施工において、主に広幅員に関する検討結果や施工上の工夫に関する概要を報告する。

2. 工事概要

本橋の概要を以下に示す。また、全体概要図を図-1に、主桁断面図を図-2に示す。

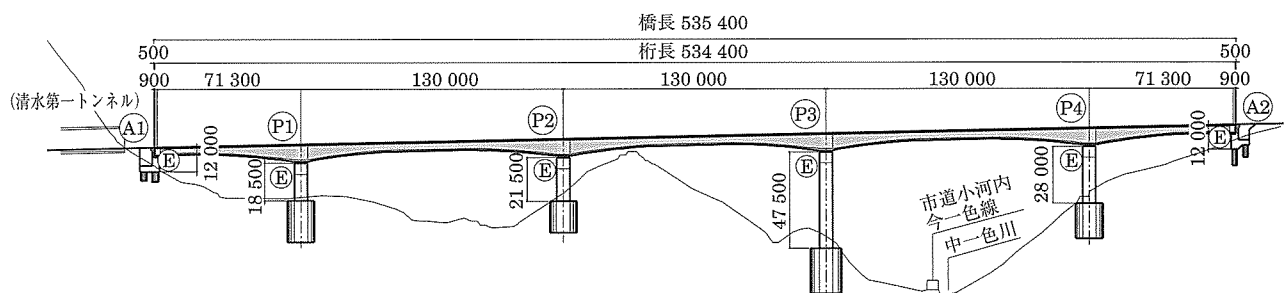


図-1 全体概要図

*1 Naoki HAGIWARA：中日本高速道路(株) 東京支社 建設事業部 計画設計チーム
 *2 Ryosuke KOYAMA：中日本高速道路(株) 東京支社 清水工事事務所 清水東工事区
 *3 Yuuji KANAZAWA：三井住友建設(株) 土木本部 土木工事管理部
 *4 Naoki NAGAMOTO：三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部

工事場所：静岡県静岡市清水区小河内
 工 事 名：第二東名高速道路 中一色川橋（PC 上部工）
 上り線工事
 構造形式：PRC 5 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋
 道路規格：第 1 種第 1 級 A 規格
 橋 長：535.40 m
 支間割り：71.30 + 3@130.0 + 71.30 m
 幅 員：有効幅員 16.50 m，総幅員 17.430 m
 架設方法：波形鋼板を架設材に用いた片持ち張出し施工

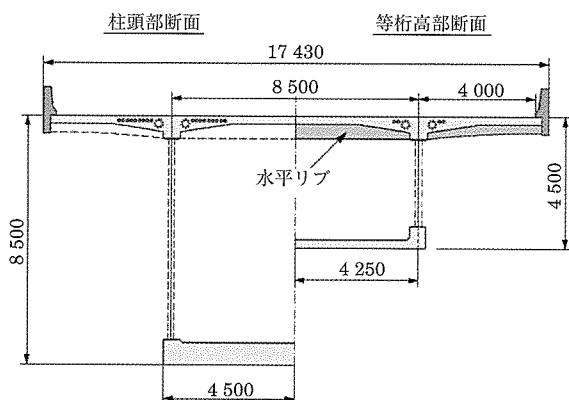


図 - 2 主桁断面図

3. 上部工の設計

3.1 床版の設計

先述のとおり、本橋は総幅員約 17 m の広幅員橋梁であるとともに、上床版を支持しているウェブが波形鋼板であるため、通常のコクリート箱桁より柔な支持構造となっている。このため、活荷重などにより床版に大きな応力が発生すると考えられるが、これに対処する手法としては、a) 多室箱桁構造とする²⁾、b) ストラット付き床版構造を有する 1 室箱桁とする³⁾、c) 10 m 程度の中間床版幅を有する 1 室箱桁とする⁴⁾、等の手法が考えられ、それぞれ実構造物へ適用されている。本橋では、施工性、断面構造の安定性、橋軸方向プレストレスの伝達性などを総合的に考え、現場打ち水平リブ付き床版を有する 1 室箱桁構造を採用した⁵⁾。

床版の支間割りについては、自重、活荷重などの作用によって発生する床版支点部（ウェブの結合部）および中間床版支間中央部の応力のバランスが良く、かつ上床版に配置する張出しケーブルのプレストレス伝達性も良好となる支間割りとして、ほぼ 1 : 2 : 1 となる値を選定した（図-2）。なお、上床版の設計は設計要領第二集⁶⁾に従い、PRC 構造（ひび割れ発生限界）として設計した。本橋は広幅員の 1 室箱桁であるが、水平リブによる補強効果により、活荷重載荷時においても荷重による上床版の引張応力度は最大 4.6 N/mm²（ウェブ上の上縁）であり、床版横締めとして 1S28.6 PC 鋼材を 800 mm 間隔で配置することにより、制限値を満足した（図-3）。

3.2 ブロック割りの設定

通常の片持ち張出し架設工法によって施工される橋梁に

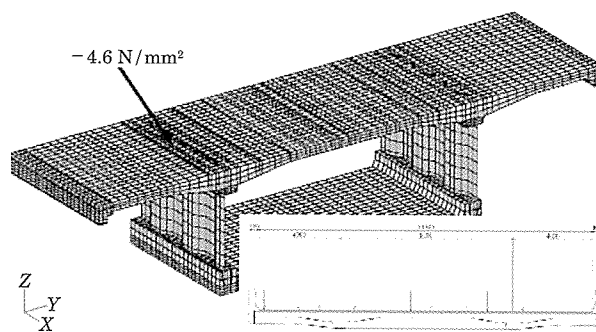


図 - 3 活荷重載荷時の上床版の応力状態

おいては、使用する移動作業車の能力によってブロック長が決定されている。とくに、本橋は広幅員の 1 室箱桁橋であり、最大支間長が 130 m と大規模な桁橋であるため、大型移動作業車を用いても柱頭部近傍のブロック長は 3 m 程度となる（図 - 4 (a)）。一方、本橋は波形鋼板を架設材として利用する架設方法を採用している（図 - 5）。本工法を採用した場合、施工ブロックの重量は先行架設した波形鋼板によって支持されるため、使用する移動作業車の能力に関係なくブロック長を設定することが可能となる。また、単位長さあたりの重量が大きく作用モーメントが大きくなる柱頭部近傍では、波形鋼板の桁高も大きいため先行架設した波形鋼板の抵抗モーメントも大きくなり、作用モーメントと相殺され、結果的に全橋にわたって 4.8 m ブロックとすることが可能となった（図 - 4 (b)）。このことから、通常的大型移動作業車を用いたブロック数と比べ、2 ブロック減らすことが可能となり、施工の省力化や工期の短縮が可能となった。

なお、ブロック長の長尺化は、次項に示す張出し施工時の発生応力度についても有効となっている。

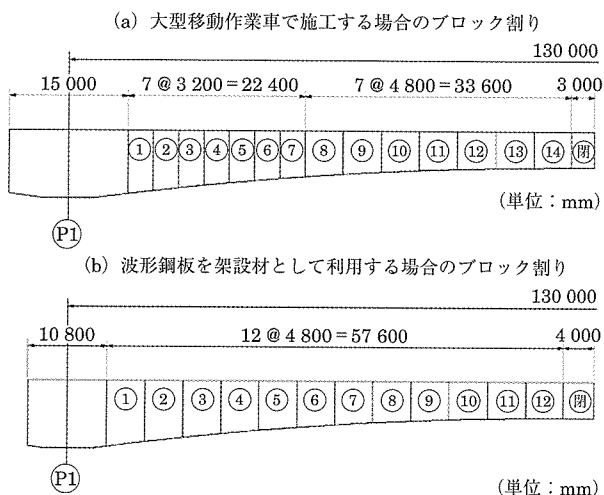


図 - 4 片持ち張出し架設部のブロック割り

3.3 張出し床版先端の応力

本橋は、片持ち張出し架設工法によって施工したが、広幅員の場合、上床版に配置する張出しケーブルの応力伝達

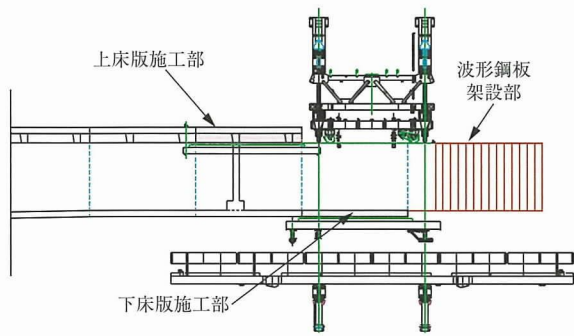


図 - 5 波形鋼板を架設材として用いた施工法

範囲が問題になる場合がある。張出し内ケーブルのプレストレスの分布を検討した立体 FEM 解析によれば、応力度が一様に分布するのは定着点から約 8.4 m 後方以降の断面であった (図 - 6)。ここで、施工ブロック長を 3.2 m とした場合、1 ブロック後方の張出し床版先端付近の継ぎ目は定着位置から近いいためほとんどプレストレスが伝達せず、目開き等が発生する危険性が懸念される。また、2 ブロック後方の継ぎ目位置においても伝達応力が一様となっていないため、2 ブロック分のプレストレスの応力伝達不足を考慮する必要が生じる。一般的に、この対処法としては張出し床版先端付近に追加の PC 鋼材を配置する、不足応力度に対して補強鉄筋を配置し、継ぎ目の目開き等を防止する、等を行う必要がある。

一方、今回の施工は、波形鋼板を架設材として用いた施工法を採用したため、すべてのブロック長を 4.8 m としている (図 - 4)。この場合、ブロック継ぎ目では応力が均一に伝達した場合の約 7 割の応力度となっていた (図 - 6)。さらに、その次のブロックでは、応力伝達がほぼ一定となっており、応力伝達不足は累積するものではなく、1 ブロック分の伝達応力の不足のみに対応することでこの問題を解決できた。今回は、張出し床版先端に 1S28.6 × 1 本を配置することにより、この伝達不足を解消した (図 - 7)。これは、ブロック長が 4.8 m と長いこと、床版支間割りがほぼ 1 : 2 : 1 であり、応力伝達のバランスがよいこと等に起因している。

ここで、一般的に広幅員の橋梁を場所打ちの片持ち張出

し架設工法にて施工する際には、コンクリートの水和反応による温度変化、乾燥収縮等の体積変化に起因して、張出し床版先端部に引張応力が発生することが懸念される。本橋の設計においては、この影響を評価するため、3次元非線形 FEM 解析を用いた温度応力解析を行った。その結果を図 - 8 に示す。この図から分かるように、張出し床版先端には、橋軸方向に最大 3.3 N/mm² の引張応力が発生することが判明した。この引張応力に対しては、補強鉄筋を配置することにより対処することとし、最大 D 22 の鉄筋を 125 mm 間隔で配置した。

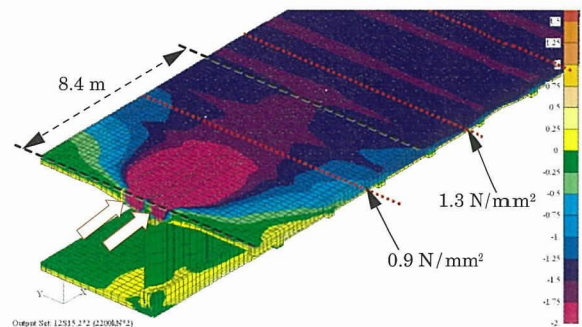


図 - 6 張出しケーブルの応力伝達

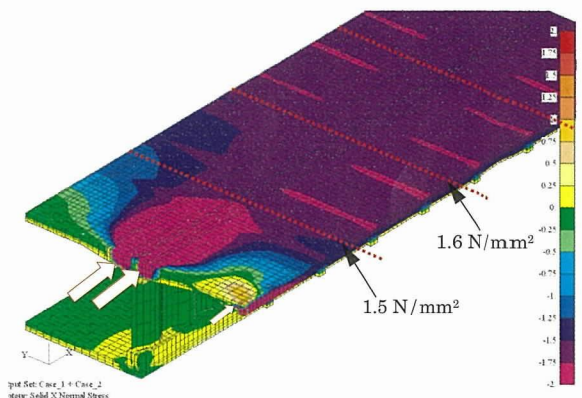


図 - 7 張出し先端鋼材による改善後の応力伝達

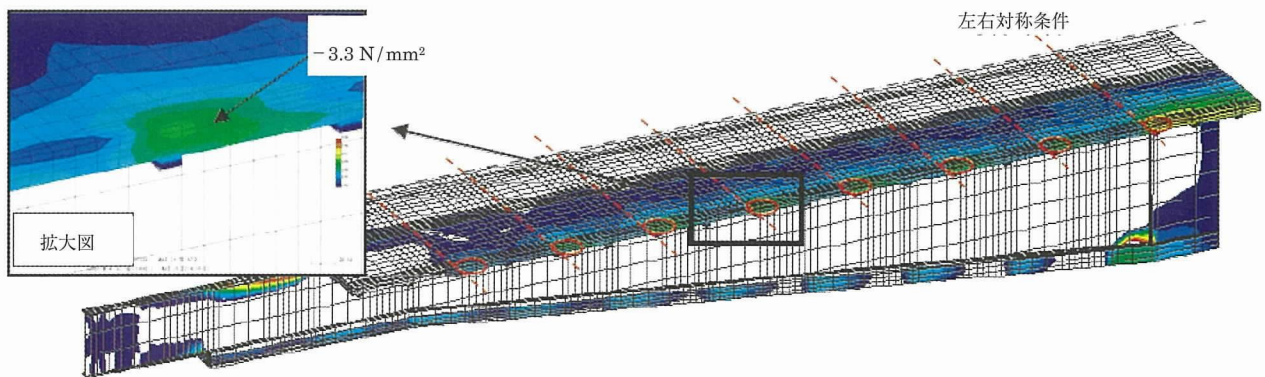


図 - 8 片持ち張出し架設時の温度応力

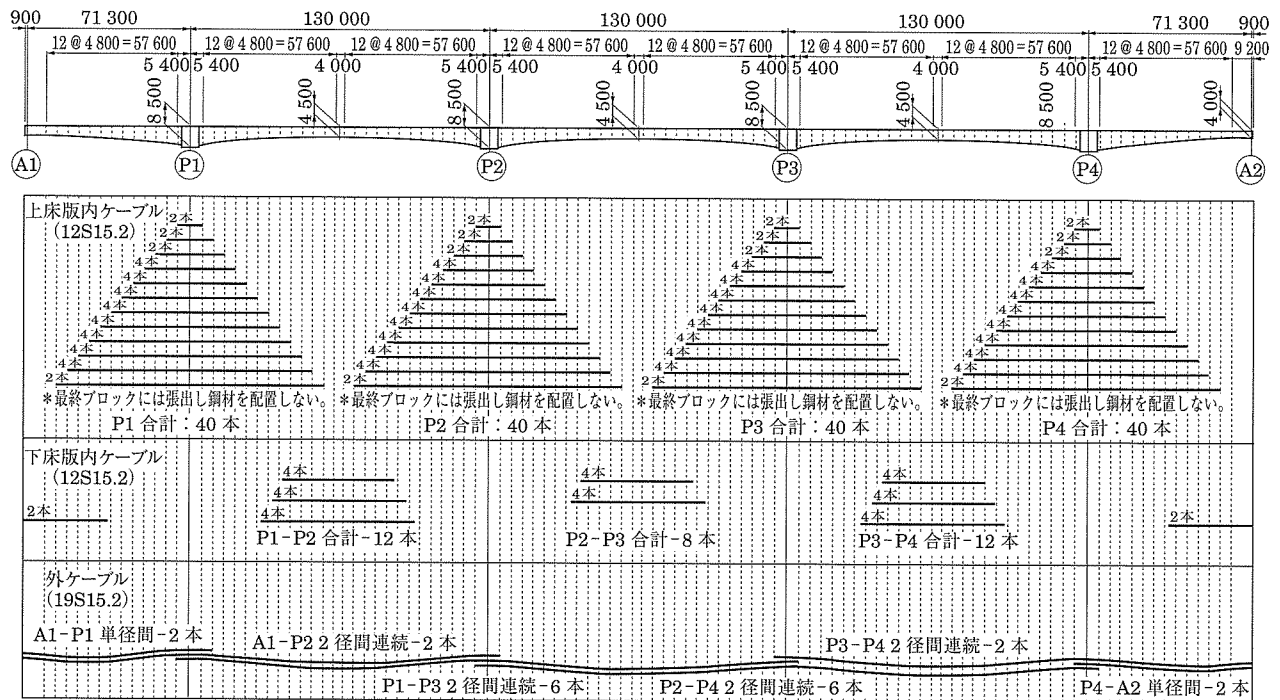


図-9 PC鋼材配置概要

3.4 PC鋼材の配置

本橋は、最大支間長 130 m であるため、最大 63 m を片持ち張出し架設した。このために必要な上床版の張出しケーブルとして、内ケーブル 12S15.2 × 40 本を配置した (図-9)。

また、支間中央部付近で必要になる連続ケーブルとしては、内ケーブルと外ケーブルを併用した。なお、下床版内ケーブルは、外ケーブル緊張後にも超音波探査等の非破壊試験によってグラウトの充てん性が確認できるように、平面的な位置が外ケーブルと重ならないように配置した。なお、上下床版とも内ケーブルのシースにはポリエチレン製シースを用いて耐久性の向上を図っていると同時に、外ケーブルにはエポキシ被覆 PC 鋼より線を用い、防錆対策の信頼性向上を図っている。

4. 上部工の施工

4.1 上部工の施工ステップ

本橋は 4 箇所橋脚から片持ち張出し施工によって施工する架設方法を採用している。具体的な施工は、橋脚の施工が先行して行われた P1, P4 橋脚の柱頭部をブラケット支保工で施工した後、前述の移動作業車を用いて張出し施工を行った。その後、A1, A2 側径間を閉合し、移動作業車を撤去して P2, P3 橋脚部へと転用した。

P2, P3 橋脚からも P1, P4 橋脚と同様に張出し施工を行い、その後、P1-P2 間、P3-P4 間を移動作業車を用いて閉合し、最後に P2-P3 間の中央閉合を行った。上部工の施工ステップを図-10 に示す。

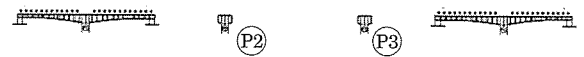
4.2 上床版の場所打ち施工

本橋の張出し施工は波形鋼板を架設材として用いる工法 (以下、Rap-Con 工法と記す) を採用しており、上床版の施工、下床版の施工、波形鋼板の架設がそれぞれべつのブ

(1) P1, P4 柱頭部の施工



(2) P1, P4 張出し部の施工および P2, P3 柱頭部の施工



(3) A1, A2 側径間の閉合



(4) 移動作業車を P2, P3 橋脚へ転用



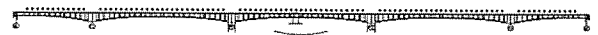
(5) P2, P3 張出し部の施工



(6) P1-P2 間、P3-P4 間の閉合



(7) P2-P3 間の閉合



(8) 橋面工

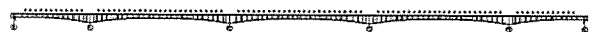


図-10 上部工の施工ステップ

ロックで同時に作業可能である (図-5)。これまで、わが国で 10 例以上の適用事例がある Rap-Con 工法⁷⁾では、上床版にプレキャストリブ・PC 板を用いた床版構造が採用されているが、本橋の架橋位置はプレキャスト部材を製作する 2 次製品工場より離れており、輸送費が高額となること、水平リブの長さは幅員から約 17 m となるが、輸送経

路の関係からこの長さのプレキャスト部材を搬入することが困難であること等から、今回は水平リブを含む上床版すべてを現場打ちで施工することとした。このため、移動作業車後方に上床版型枠設備を設けたが、その型枠は移動作業車が次ブロックへ移動する際に、完成した水平リブとの干渉を避けるため、分割して移動できる構造とした。

4.3 場所打ち水平リブの施工

前述のように、本橋の上床版はスラブ部と一体施工する水平リブを有している。この水平リブの施工においては、溝型の狭隘な型枠内で鉄筋およびリブ横締めPC鋼材の組立てを行わなければならないため、施工性が悪く張出し施工サイクルのクリティカルとなることが予想された。そこで、このことを改善するために水平リブの鉄筋をプレファブ化し、型枠内に一括して吊り込む手法を採用した(写真-1, 2)。このことによりリブ部の施工性が向上し、省力化を図れたとともに、上床版の鉄筋組立て日数も短縮できた。



写真-1 水平リブのプレファブ鉄筋組立て状況



写真-2 型枠内への水平リブのプレファブ鉄筋配置

4.4 波形鋼板の架設

従来のプレキャスト部材を用いた工法では、プレキャストリブ、波形鋼板などを施工ブロックに吊り込むために、橋面上に移動式クレーンを配置し、施工を行ってきた。一方、本橋では移動作業車内に電動ホイストクレーンを設けることで橋面上の移動式クレーンを省略し、施工の合理化

を図った(写真-3)。このホイストクレーンは、波形鋼板の架設だけでなく、プレファブ化したりブ鉄筋、緊張ジャッキなど、その他のすべての資機材搬入に用い、各施工の省力化に効果的であった。

また、波形鋼板の橋面上の運搬については軌道または台車を用いることが一般的であるが、本橋では波形鋼板自体に脱着式の車輪を取り付けることで波形鋼板を自走させる方法を採用した。これらにより、架設・運搬設備についても簡略化を図った(写真-4)。

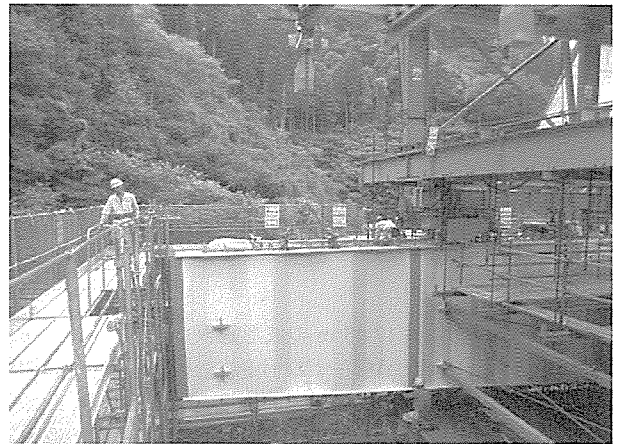


写真-3 波形鋼板架設状況



写真-4 波形鋼板の運搬状況

4.5 内ケーブルのグラウト充てん確認

本橋の上下床版には橋軸方向の内ケーブルを配置している。この内ケーブルについては耐久性およびPC鋼材とコンクリートとの一体性確保のため、確実なグラウト充てんが重要である。そこで、本橋ではその確認のため広帯域超音波探査によるグラウトの充てん調査を実施した(写真-5)。調査に先立ち、まず電磁波レーダー法により鉄筋の位置を調査し、その位置を避けた位置に超音波探査用の発信探査子および受信探査子を設置して精度の向上を図った。また、実際の検査頻度は、「構造物施工管理要領⁸⁾」にのっとり、1ケーブルにつき測点を10m間隔以下で設け、全測点の30%を抜取り検査した。その結果、検査したすべての



写真-5 非破壊検査によるグラウト充てん確認状況

ケーブルでグラウトが充てんされていることを確認している。

5. ま と め

本稿では、総幅員 17.43 m の波形鋼板ウェブ橋に、場所打ち水平リブ付き床版を有する 1 室箱桁構造を採用した中一色川橋（上り線）の設計と施工について報告した。本橋の設計・施工を通じて得られた結果は以下のとおりである。

- 1) リブ付き床版構造を採用した、波形鋼板を有する幅員 17.43 m の 1 室箱桁構造を建設した。
- 2) 波形鋼板を架設材として用い、上床版を場所打ちコンクリートによって施工する工法を採用した。
- 3) リブ付き床版構造の採用による床版支間の調整と、波形鋼板を架設材として利用した施工法による施工ブロックの長尺化により、片持ち張出し架設工法によって

施工される広幅員 PC 箱桁橋で懸念される張出し床版先端の引張応力度を低減し、ブロック継ぎ目の目開きを抑制することが可能となった。

本橋は平成 19 年 8 月より実施工を開始し、平成 21 年 11 月に竣工した（写真 - 6）。本報告が同種橋梁の設計・施工に些かでも参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 永元直樹, 中園明弘, 安川義行, 春日昭夫: 張出し施工時に波形鋼板を架設材として利用した信楽第七橋の設計, 第 12 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.429 - 432, 2003.10
- 2) 村尾光弘, 田中克則, 宮内秀敏, 佐川信之, 毛利俊彦, 西村 公: 信楽第七橋, 津久見川橋の設計と施工 — 施工の合理化, 急速化を図った波形鋼板ウェブ橋 —, 橋梁と基礎 Vol.38, No.2, pp.5 - 13, 2004.2
- 3) 藤井康平, 檜作正登, 田中初成, 田中政章: 第二東名高速道路 入野高架橋（上り線）の設計・施工, 第 15 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.383 - 386, 2006.10
- 4) 西澤健太郎, 青木圭一, 佐藤成禎, 西村力哉: 広幅員に対応した波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計, 第 14 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.221 - 224, 2005.11
- 5) 永元直樹, 手塚教雄, 小山亮介, 金澤雄治: 広幅員場所打ち水平リブ付き床版を有する波形鋼板ウェブ橋の設計・施工, 第 18 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.315 - 318, 2009.10
- 6) 東日本高速道路 (株), 中日本高速道路 (株), 西日本高速道路 (株): 設計要領第二集, 2007.8
- 7) 萩原直樹, 青木圭一, 平 喜彦, 伊藤 篤: 波形鋼板ウェブを架設材として利用した張出し架設 — 第二東名高速道路 赤淵川橋下り線 —, 第 16 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.319 - 322, 2007.10
- 8) 東日本高速道路 (株), 中日本高速道路 (株), 西日本高速道路 (株): 構造物施工管理要領, 2007.8

【2010 年 3 月 17 日受付】



写真-6 中一色川橋（上り線）完成写真