

新東名高速道路 名高田高架橋（仮称）の設計・施工

— 移動式型枠システムを採用した PRC 多径間連続箱桁橋 —

青木 一純*1・長尾 賢二*2・弓家 猛*3・細谷 学*4

名高田高架橋は、新東名高速道路のうち、設楽原 PA（仮称）～新城 IC（仮称）間に位置する PRC12 径間連続箱桁橋である。主桁は等桁高断面（ $H = 2.7\text{ m}$ ）の全外ケーブル構造となっている。基本設計では、上下線ともに大型移動支保工による架設が計画されていたが、発注時に固定支保工架設に変更され、実際の施工では、接地式支保工を縦移動、横移動して転用する移動式型枠システムを用いた断面一括打設により架設した。本稿は、品質向上を図るための設計上の工夫や工期短縮を目的とした施工における取組みについて報告するものである。

キーワード：全外ケーブル方式、免震構造、温度計測、移動式型枠支保工、断面一括打設

1. はじめに

名高田高架橋は、愛知県新城市に位置し、新東名高速道路設楽原 PA（仮称）～新城 IC（仮称）間に架かる PRC12 径間連続箱桁橋である。本橋上下線および川上橋上下線（上り線：PRC 2 径間連続 2 主版桁橋、下り線：PRC 3 径間連続 3 主版桁橋）4 橋の PC 上部工工事として発注され、平成 23 年に着工した。名高田高架橋の主桁断面は、図 - 1 に示すように桁高 2.7 m の等桁高断面であり、PC 鋼材の配置方法は全外ケーブル方式である。また、本橋は、超高減衰積層ゴム支承（S-HDR）を用いた免震構造となっている。

基本設計では A2 側から大型移動支保工にて 1 径間ごとに架設する PC 構造の橋梁として設計されていたが、発注段階で A1 側から順次固定支保工にて架設するように変更された。架設に際して、工期短縮等を目的として、先行施工区間の接地式支保工を縦移動、横移動し、次施工区間に転用する移動式型枠システムを採用し、施工の省力化を図った。また、コンクリート打設では、上床版の収縮ひび割れ防止の観点から、主桁断面をウェブ上で分割する一般的な打設方法ではなく、上床版を含めて一括で打設する方法を採用した。本稿では、施工に関する取組みを中心に、

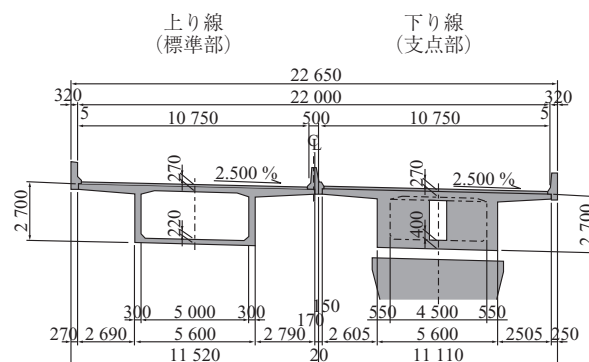


図 - 1 主桁断面図

品質向上を図るための設計上の工夫などをあわせて紹介する。

2. 橋梁概要

本橋の全体一般図を図 - 2 に、本橋の工事概要を以下に示す。本橋は上下線が接近して計画されており、中央分離帯側の壁高欄同士の間隔は 20 mm しかない。

工事名：名高田高架橋他 1 橋（PC 上部工）工事
発注者：中日本高速道路（株）豊川工事事務所



*1 Kazusumi AOKI

大成建設（株）
東北支店



*2 Kenji NAGAO

大成建設（株）
土木技術部



*3 Takeshi YUGE

大成建設（株）
関西支店



*4 Manabu HOSOTANI

大成建設（株）
土木技術部

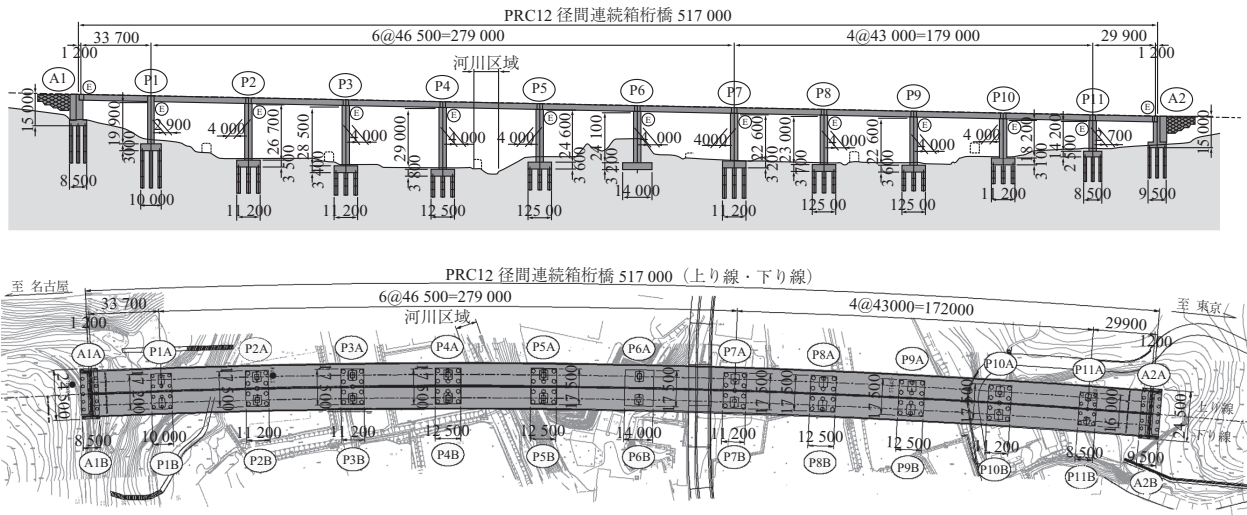


図 - 2 全体一般図

工事場所：愛知県新城市矢部～須永
 契約工期：平成 23 年 2 月 23 日～平成 25 年 11 月 8 日
 構造形式：PRC12 径間連続箱桁橋
 橋 長：517.0 m（道路中心線上）
 支 間 割：33.7 m + 6@46.5 m + 4@43.0 m + 29.9 m
 有効幅員：10.750 m（暫定 2 車線時）
 平面線形：R = 4 200 m

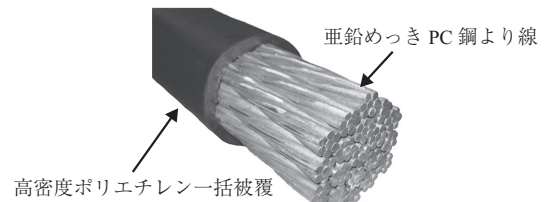


写真 - 1 亜鉛めっきマルチケーブル

3. 設計上の工夫

3.1 主桁の設計

主桁は、基本設計では PC 構造としていたが、詳細設計において PRC 構造に変更した。解析は、A1 から A2 に向けて 1 支間毎に打設・緊張を行う実際の施工ステップを反映した 2 次元骨組解析モデルを用いて行い、全死荷重時ならびに死荷重 + 温度時におけるコンクリート縁引張応力度を 2012 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕に準拠した曲げひび割れ強度以下（方法 B）で制御し、その他の荷重ケースについては曲げひび割れ幅が制限値以内（方法 A）であることを確認している。

本橋の縦縮めケーブルは、すべて 19S15.2B の外ケーブルであるが、シース管の配置やグラウト作業が不要なプレファブケーブルである亜鉛めっきマルチケーブルを新東名高速道路（浜松いなさ～豊田東）で初めて試験的に導入した。同ケーブルは、写真 - 1 に示すように、JIS に準拠した PC 鋼より線の各素線に溶融亜鉛めっきを施したものを所定本数束ねあわせ、さらに外側を高密度ポリエチレンで密着被覆した 2 重防食構造で、耐久性に優れている 1)。これまでも NEXCO 所管の高速道路橋での採用実績はあるが、同路線では初めてとなるため、採用にあたっては種々の確認試験を実施した。

主桁には、1 支間あたり 6～8 本の外ケーブルが配置されているが、架設工法が大型移動支保工から固定支保工に変更になり、移動支保工の場合のように移動時の反力が主桁に作用することがなくなったため、架設時に緊張しておかなければならないケーブル本数は 6 本から 4 本に減少し

た。このため、1 支間ごとに緊張する単径間ケーブルの割合を減らし、2 径間連続のケーブル割合を増すことで基本設計よりも 3 % 程度（上下線合計：6.6 t 程度）ケーブル重量を低減し、経済性を向上させた。

また、連続ケーブルとしての外ケーブルは一般的に支点横桁に定着させるが、架設時に施工継目部となる $0.2 \times L$ （L：スパン長）までの区間が片持ち張出状態の RC 構造となり、上縁側の引張応力が厳しくなるため、この位置に横桁を配置し、架設時に必要なケーブルを定着させた。なお、この施工継目横桁は、重量を抑えるため厚さが 1.6 m と比較的薄く、かつ外ケーブルが片側のみに定着されることから、定着面と反対側の面（定着背面）に緊張力による局所的な引張応力の発生が懸念された。3 次元 FEM 解析を実施した結果、表面に 3.0 N/mm^2 をわずかに上回る応力が発生したため、鉄筋による補強を行い、鉛直方向に $D25@200 \text{ mm}$ および $D22@200 \text{ mm}$ を各 1 段ずつ、水平方向には $D19@200 \text{ mm}$ を配置した（図 - 3）。

3.2 床版の設計

NEXCO 中日本名古屋支社が管理する新設橋梁の上床版の鉄筋は、耐久性向上の観点から 125 mm 間隔で配置することを原則としている。このため、基本設計に比べて上床版の配筋量が多くなり、PRC 構造として設計する場合に考慮する鉄筋拘束力が大きくなり、基本設計と同一の床版横縮め PC 鋼材では照査を満足することができなかった。このため、経済性比較を行い、最適となる鋼材径および配置間隔の組み合わせとして、上り線では $1S28.6@750 \text{ mm}$ 、下り線では $1S21.8@500 \text{ mm}$ に決定した。なお、下り線の

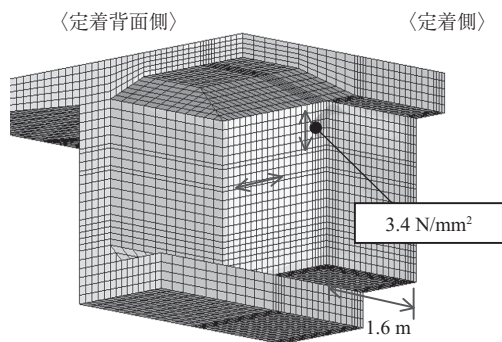


図 - 3 施工目地横桁の FEM 解析結果 (最大主応力図)

床版横締め鋼材の緊張時にはすでに上り線が施工されており、緊張スペースが確保できないことから、下り線は路肩側からの片側緊張で成立するように設計している。また、同路線は将来の交通量増大に備えて片側3車線への拡幅が計画されているため、路肩側の張出し床版先端には拡幅時に接続が可能なようにD22の鉄筋を200mm突出させている。

3.3 横桁部の温度応力解析と現地計測

マスコンクリートとなる中間支点横桁は、横桁の中心温度の上昇により、部材厚の薄い張出し床版先端にひび割れの発生を誘発する可能性が懸念された。このため、事前に3次元モデルを用いた温度応力解析を実施し、張出し床版先端部のひび割れ指数を確認した。

対策を行わない場合には、図 - 4 に示すように張出し床版先端の最小ひび割れ指数は $I_{cr} = 1.07$ となり、JCIのひび割れ制御指針²⁾によれば50%程度の確率でひび割れが生じる可能性があった。ひび割れ発生確率をより低減するには横桁部での発熱量の低減が有効と考え、簡易でかつ経済的な方法として、外ケーブル偏向管を利用したエアクーリングを適用した。対策後の解析結果より張出し床版先端の最小ひび割れ指数は $I_{cr} = 1.79$ まで改善した。図 - 5 は、張出し床版の先端と付け根における温度差を解析値と実測値とで比較した結果であるが、実測温度差が若干大きく、ばらつきはあるものの、解析結果とほぼ整合した傾向が確認され、事前計画で期待した効果は得られたものと考えられる。なお、完成後の調査でも張出し床版先端部のひび割れは確認されていない。

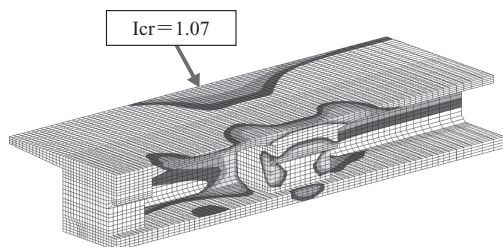


図 - 4 中間支点横桁の温度応力解析結果 (対策なし)

3.4 耐震設計

本橋は、超高減衰積層ゴム支承(S-HDR)を採用した免震橋であるため、レベル2地震動(以下、L2地震時)

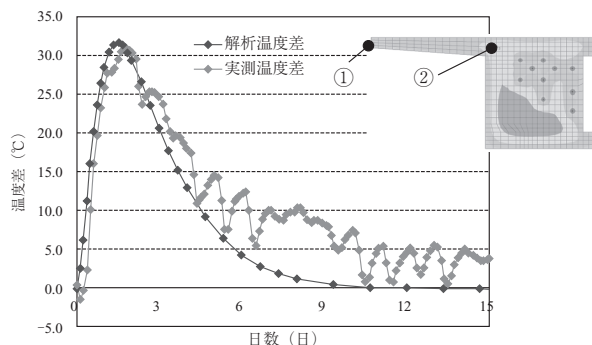


図 - 5 張出し床版先端と付け根部の温度差

に対する耐震設計では、改定前の道路橋示方書・同解説V耐震設計編(平成14年)により、動的解析を実施している。以下に、本橋の耐震設計における基本条件を示す。

- 1) 橋の重量区分: B種の橋
- 2) 地域別補正係数: 地域区分A(愛知県): $C_z = 1.0$
- 3) 地盤種別: I種地盤, II種地盤(複合地盤)

動的解析は、二柱式橋脚であることを考慮して、図 - 6 に示す上下線一体フーチングをモデル化した3次元モデルによる非線形時刻歴応答解析とした。積分手法は設計要領第二集 橋梁建設編(平成23年)に示される直接積分法(New mark β 法: $\beta = 0.25$)とし、減衰については別途固有値解析を実施し、Reyleigh型減衰を設定した。また、前述したとおり、本橋は上下線が近接しているため、基本設計では中間支点部(P1~P11)にはサイドブロックを設置し、レベル1地震時に主桁同士が衝突しないように橋軸直角方向への主桁の移動を制限していた。これに関しては、基本設計の思想を踏襲し、詳細設計でも同様とした。

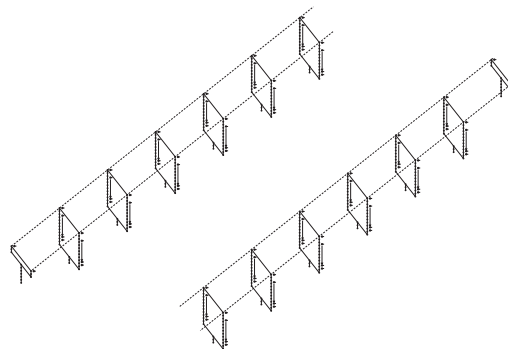


図 - 6 動的解析モデル

動的解析における免震支承(S-HDR)のゴム厚の初期値は、常時の回転照査に対して必要となる厚さを初期値とした。最終的なゴム厚は、L2地震時のせん断ひずみより決定しており、制限値の250%に対して、動的解析結果は231.4%~247.7%となった。なお、常時の移動量が大きい端部4箇所(A1, P1, P11, A2)ではポストスライド(主桁製作後のゴム支承の変位調整)を実施している。ゴムの平面寸法は、中間支点部では常時の圧縮応力度ないしは引張応力度の照査により決定しており、端支点部では二次形状係数が4.0以上となるように決定した。

以上のように設計した免震支承を用いた場合の各橋脚のL2地震時における照査を実施したところ、橋軸方向、橋軸直角方向ともに回転角および残留変位などのすべての照査項目について応答値が許容値以内に収まり、所要の耐震性能が確保されていることが確認できた。なお、詳細設計における各橋脚の応答値は基本設計より小さくなっており、橋脚基礎についても問題ない結果となった。詳細設計完了後に東北地方太平洋沖地震を経て道示が改定されたことを受けて、道路橋示方書・同解説V耐震設計編(平成24年)を適用した場合の安全性についても確認している。

4. 施工における取組み

4.1 施工概要

本橋の架設場所はA1～P2間において法面が存在するが、他の径間は起伏も少なく比較的平坦な地形である。地盤から桁までの高さは最大で約30m、河川(連吾川)および市道(市道須長線他2本)を横断するほか、農道等を横断し架設される。発注時の架設工法は固定支保工架設であり、支保工形式は支柱+梁材で計画されていた。施工にあたっては、工程短縮、省力化、リスクの回避を考慮し、支保工支柱にはパイプ支柱システム式支保工(RoRo)を採用し梁材をH鋼ではなく、トラス材を採用することで支保工スパンを大きくし、支柱箇所数を出来る限り少なくした。さらに、支保工の組立解体回数を減らす目的で、主桁支保工の上下線間での横移動と主桁張出部型枠支保工の縦方向への移動を行った。また、品質面では主桁断面を一括打設することで材齢差によるひび割れの防止を図った。

以下に、支保工の横移動、張出し部型枠支保工の縦移動、断面一括打設について記す。

4.2 支保工の横移動

支保工は支柱および梁(トラス)で構成され、その上部にくさび式支柱を設置した(図-8)。

図-7に示すように、梁は1径間あたり3支柱(橋脚部および中間支柱)で支持したが、P1～P2と河川横断面部

においては4支柱とした。施工は上り線A1側から行い、順次下り線へ横移動を行った(図-9)。

支保工の移動方法としてはオーソドックスなものであり、各支柱ごとに先行して設置した下り線側敷桁をレールとし移動用ローラーとチルホールの組合せで1径間ごとに移動した(写真-2)。移動時に留意した点は、支保工高さが最大26mに対し、最小幅が8.5mであったため重心位置が高いこと、1径間を同時に移動させるため移動後の修正が困難であることを考慮し、各支柱の移動量が均一となるように管理を徹底した。

4.3 張出し部型枠支保工の縦移動

張出し部の型枠支保工は、設置時は上方からクレーンにて吊り込むことが可能であるが、コンクリート打設後は現地で部材ごとに解体を行ったり、大きく横に引き出したりする必要があり、それに伴い足場の解体なども発生するため、この組立回数を減らすことは安全性の向上に大きく貢献できる。そこで張出し部の型枠については、可能な限りそのままの形状で次の径間に縦方向へ移動できるように計画した(図-10)。

施工にあたっては事前に仮組みを行い、各部材の可動、全体の移動などが問題なく行えるかの確認を行った。

本橋の場合、張出し下面の型枠とそれに繋がる主桁側面の型枠とをひとつのユニットとしたため、自重だけでは脱型できないものと判断し、フレームに取り付けたチェーンブロックで型枠を变形させ鉛直面の剥離を促すこととした。これにより剥離性は向上し、自重のみで十分に剥離させることが可能となった。剥離後は左右方向へスライドさせた後、桁との接触や支保工との干渉が起きないように確認しながらウインチを用いて次スパンへの移動を行った。

この方法の長所は、1セット(1スパン分)の型枠を順次転用していくことであるが、転用の時期が工程のクリティカルとなるため、短所にも成り得る。そのため、可能な限り入手がしやすい材料で、補助作業(メンテナンス、部材交換など)が少なくできる材料を選定することに留意し

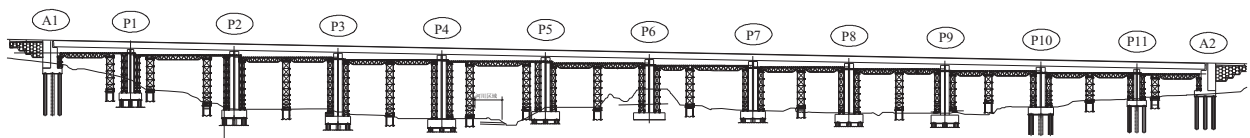


図-7 支保工全体図

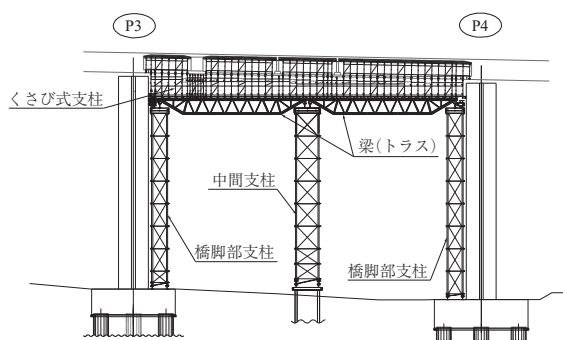


図-8 側面図

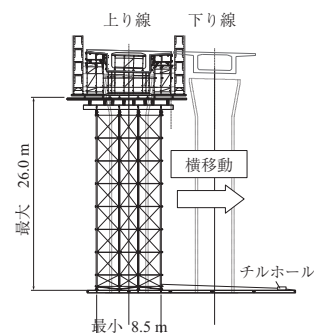
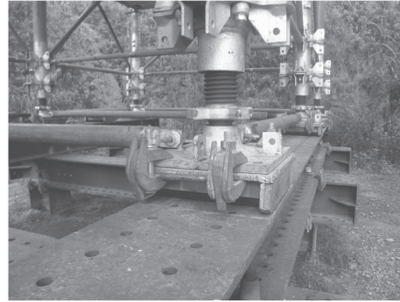


図-9 移動時断面図

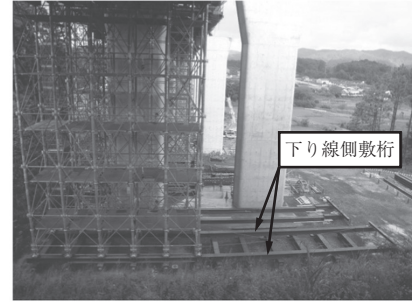
移動状況



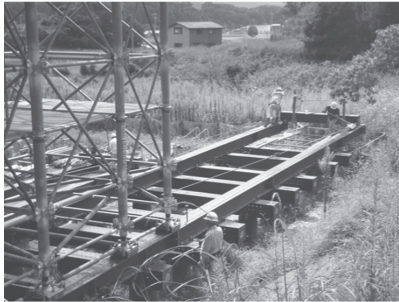
• ローラー設置前



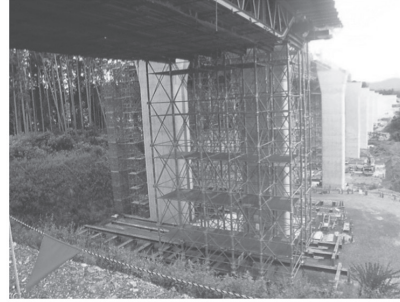
• ローラー設置後



• 下り線側敷桁設置



• 横移動状況



• 横移動完了



• 横移動完了

移動状況(定点写真)



① 移動開始



② 移動状況



③ 移動状況 (50%)



④ 移動完了

写真 - 2 支保工横移動

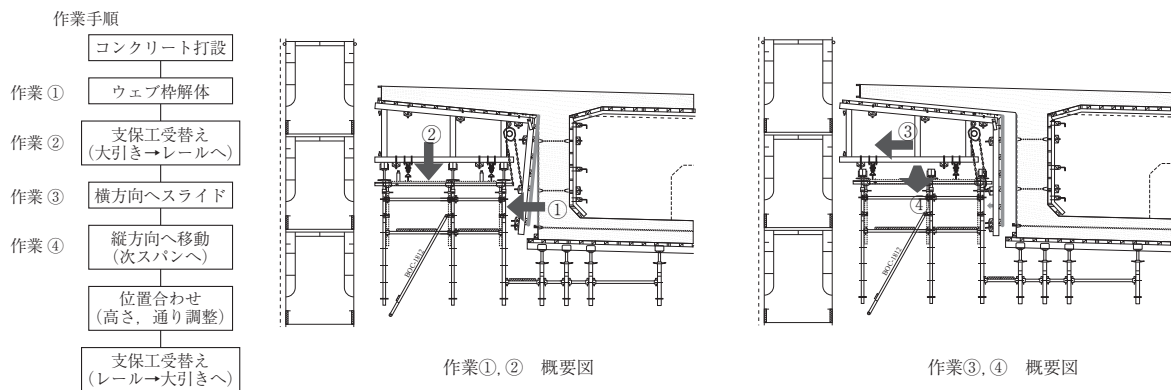


図 - 10 縦移動作業手順

た。型枠支保工を構成する部材には、特注品や特殊な部材を使わないこととした。使用した型枠材も耐久性が高く、剥離性の良いものとしてポリプロピレンシート補強型枠材を使用した。部位によっては損傷が激しく、交換が必要であったが、大半の場所は交換することなく12回の転用が可能であった。写真 - 3 に実施状況を示す。

4.4 断面一括打設

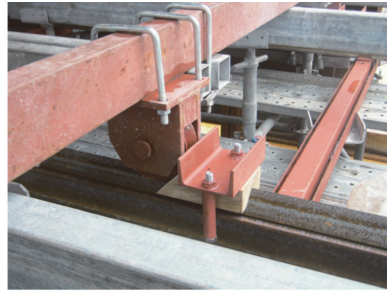
本橋のような箱桁の場合、図 - 11 に示すように、主桁

コンクリートは2回に分けて打設する場合も多いが、コンクリートの材齢差による収縮ひび割れなどの品質低下を懸念し、本橋では断面一括打設を採用した。

一括打設においては下床版と同時に上床版も支保しなければならず、桁下と桁内の支保工の位置や通りを一致させることが必要であるが、底型枠を挟んで上下で合わせることとなり、作業時の位置確認が困難となるため、底型枠の一部に透明型枠を採用し、目視にて位置の確認が行えるよ



仮組立て状況



縦移動装置



設置状況



移動状況（ウインチ使用）



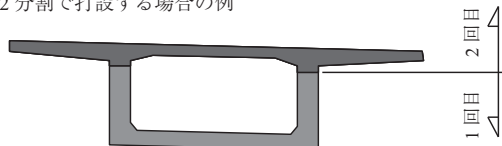
移動状況



移動状況

写真 - 3 張出し部型枠支保工の縦移動

2分割で打設する場合の例



一括打設する場合

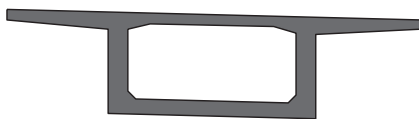


図 - 11 打設イメージ図

うに配慮した。また、一括打設で施工する場合は桁内の照明設備も必要となる。そのため上床版の一部に、採光のため透明型枠を使用した（写真 - 4）。

5. おわりに

名高田高架橋は、本稿で説明した設計上の工夫や施工上の取組みを中心に品質向上や施工の合理化を図り、平成27年7月に無事竣工した（写真 - 5）。本橋における取組みが、今後同様の特性を有する橋梁の施工において参考になれば幸いである。

最後に多大なご協力とご指導をいただいた関係各位の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 亜鉛めっきマルチケーブル技術資料, 神鋼鋼線工業株式会社, 2008.3
- 2) (社)日本コンクリート工学協会: マスコンクリートのひびわれ制御指針 2008



写真 - 4 桁内支保工組立状況



写真 - 5 完成写真

【2015年9月5日受付】