

工事報告

関口高架橋他 4 橋（PC 上部工）北工事 — 版桁橋を中空とした U 桁リフティング架設工法 —

黒田 健二*1・實延 栄二*2・西村 一博*3・水田 武利*4

平成 25 年 3 月に開通した首都圏中央連絡自動車道海老名インターチェンジ～相模原愛川インターチェンジ間の厚木パーキングエリア付近において関口高架橋上下線と厚木パーキングエリアランプ橋の計 6 橋を架橋する PC 上部工工事を行った。

本線橋である関口高架橋の北側 PC 橋梁区間は、版桁部と箱桁部から構成される PC 25 径間連続桁橋である。平成 24 年度内の供用を実現するための工程短縮、品質向上および安全性向上を目的として版桁部の充実断面を中空断面とした「U 形プレキャスト桁＋場所打ち床版」構造を採用し、U 桁リフティング架設工法により施工した。

本稿では版桁部を中空断面とした構造の設計手法や特徴、U 桁リフティング架設工法の施工概要について報告する。

キーワード：U 桁リフティング架設工法、版桁橋、工程短縮、品質向上

1. はじめに

首都圏中央連絡自動車道は都心から半径 40 km ～ 60 km の位置に計画された高規格幹線道路である。関口高架橋は厚木パーキングエリア付近に架かる高架橋であり、版桁部と箱桁部から構成される PC 25 径間連続桁橋の北側 PC 橋梁区間を U 桁リフティング架設工法により施工した。

通常、版桁橋を固定支保工施工で工程短縮を図るには広範囲での同時施工が必須となる。それにより支保工、型枠材料の運搬、組立て解体、コンクリート打設に伴う騒音および振動が懸念される。またマスコンクリートとなる版桁橋の主版部は、内部拘束により主版外周にひび割れの発生も懸念される。

一方、U 桁リフティング架設工法は、現場内の製作ヤードで U 形プレキャスト桁（以下、U 桁）を製作し、場内運搬をして橋体を架設、構築するものである。主桁の架設は U 桁をリフティングガーダーにて一括吊上げし、その後、プレキャスト板の敷設、現場打ち床版コンクリートを打設して主桁を構築する。本工法は圏央道中野高架橋北工事などで実績のある工法であり、工程短縮や品質の向上が可能で、工事中的騒音と振動を大幅に低減できる工法である^{1,2)}（写真 - 1）。そこで、本工事においては版桁部の充実断面を中空断面とした U 桁リフティング架設工法を採用した。

本稿では U 桁リフティング架設工法を行うために版桁部を中空断面とする構造の設計手法や特徴、U 桁リフティング架設工法の施工概要について報告する。

2. 工事概要

本橋の全景を写真 - 2 に示す。また、工事概要を以下



写真 - 1 U 桁リフティング架設



写真 - 2 関口高架橋全景

に、位置図を図 - 1 に、全体一般図を図 - 2 に示す。

工 事 名：首都圏中央連絡自動車道

関口高架橋他 4 橋（PC 上部工）北工事

発 注 者：中日本高速道路 (株) 東京支社

*1 Kenji KURODA：中日本高速道路 (株) 東京支社 建設事業部

*2 Eiji JITSUNOBU：中日本高速道路 (株) 東京支社 厚木工事事務所

*3 Kazuhiro NISHIMURA：三井住友建設 (株) 土木本部 土木設計部

*4 Taketoshi MIZUTA：三井住友建設 (株) 東京土木支店 土木部

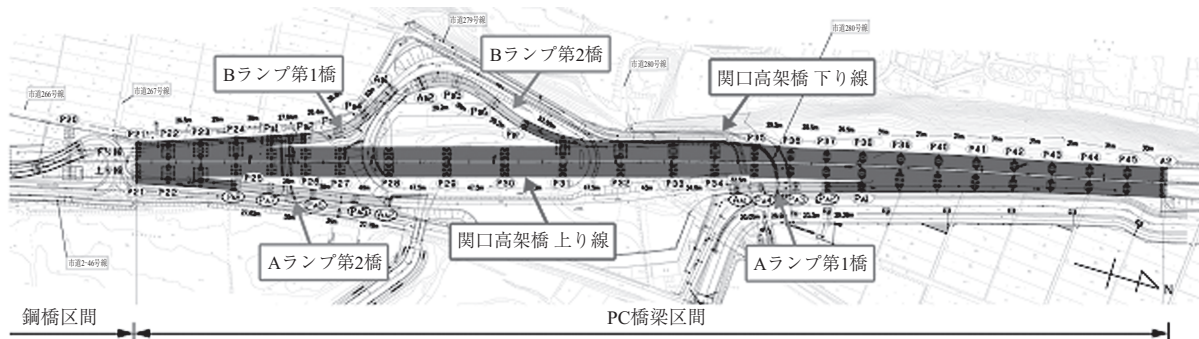


図 - 1 位置図

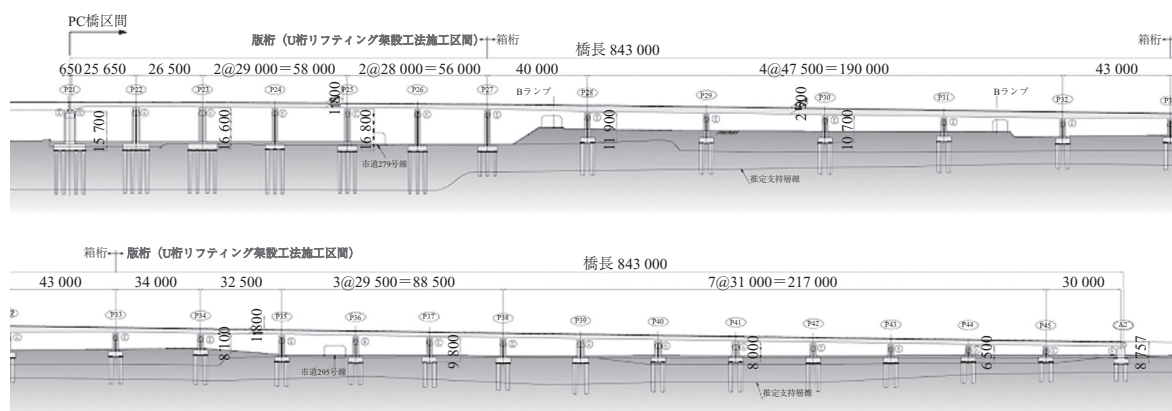


図 - 2 全体一般図

工事場所：神奈川県厚木市関口～山際
 構造形式：PRC 6 径間連続多主版桁 + PRC 6 径間連続箱桁 + PRC 13 径間連続多主版桁橋（上下線）
 橋 長：843.0 m（上下線）
 桁 高：1.800 m（版桁部）～ 2.500 m（箱桁部）
 工 期：平成 22 年 9 月 1 日～平成 25 年 4 月 20 日

3. U 桁リフティング架設工法の概要

本橋で行った U 桁リフティング架設工法の概要図を図 - 3 に示す。

柱頭部を支保工施工にて先行施工し（STEP-1）、現場内に設けた製作ヤードにおいて製作した U 桁を架設位置までトレーラーによる運搬（STEP-2）、リフティングガーダーにて U 桁を架設する（STEP-3）。後方の径間では架設した U 桁に RC 板の敷設を行い（STEP-4）、場所打ち床版

を施工する（STEP-5）。この方法により断面の主桁部分と床版部分をべつの場所で同時に施工することが可能となるため作業が効率的に行え、大幅に工程が短縮できることになる。また、主桁も現場内の製作ヤードの安定した施工環境下で製作するため品質も向上する。

施工順序図を図 - 4 に示す。本橋は版桁部 + 箱桁部 + 版桁部という構成となっている。橋梁中間部には箱桁部が存在するため終点側より架設を開始したリフティングガーダーは箱桁上を通過させ、再び起点側を架設する片押しの施工順序とした。

4. 構造概要

4.1 主桁断面の変更

本橋の標準主桁断面を図 - 5 に示す。U 桁リフティング架設工法に対応するために版桁部では充実断面である構造

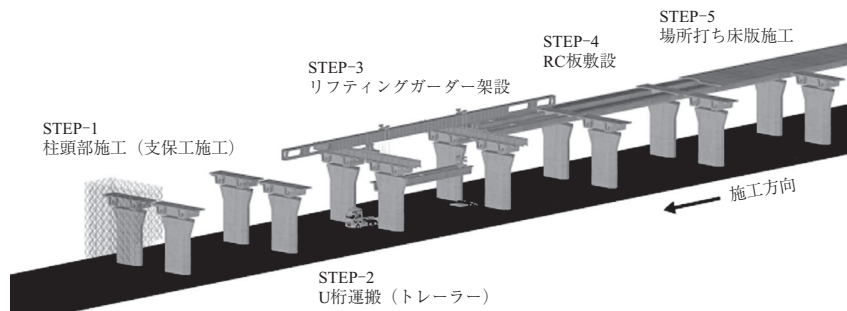


図 - 3 架設概要図

○ 工事報告 ○

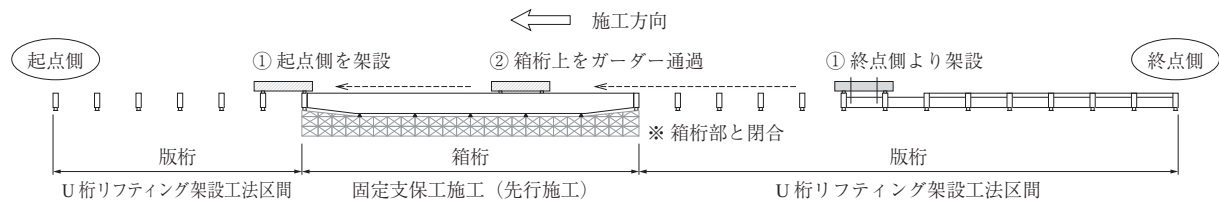
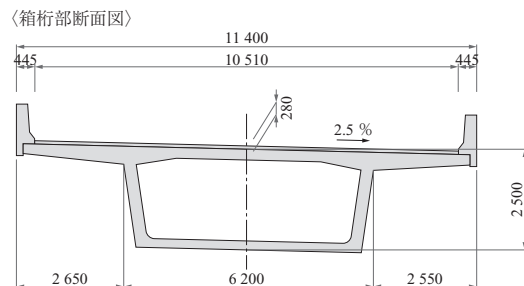
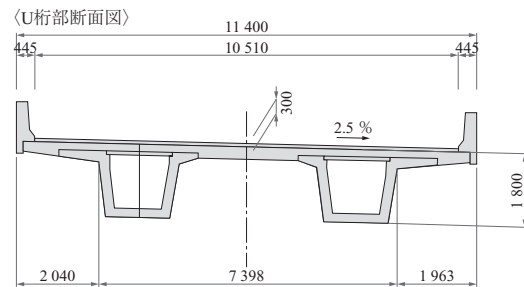
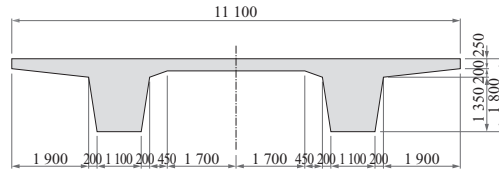


図 - 4 施工順序図

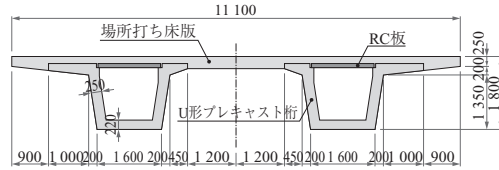


(a) 標準部主桁断面図

当初断面(充実断面)



U桁断面(中空断面)



(b) 変更断面図

図 - 5 主桁断面図

表 - 1 U 桁 比較

中野高架橋		関口高架橋	
完成断面桁高	2,400 m	完成断面桁高	1,800 m
平均支間長	40,000 m	平均支間長	31,000 m
U桁重量 (1主桁あたり)	約170 t	U桁重量 (1主桁あたり)	約100 t
U桁断面		U桁断面	

を中空断面としている。また下床版幅を充実断面の1,100 mmから中空断面の1,600 mmへ変更することで、桁内の点検管理用通路を確保できる構造とした。U桁の断面構成はウェブと下床版を一体とし、張出し床版部はのちに打設する場所打ち床版部を極力少なくするため、左右非対称となる構造とした。

断面を中空とすることで本橋の場合、充実断面と比較し主桁重量を約21%軽減できる。これにより上部工重量が低減されるため支承寸法の縮小や下部構造の耐震設計などに対して、大幅に有利となる。

U桁リフティング架設工法は、圏央道中野高架橋北工事などで実績のある工法であるが、これまでは桁高2.5 m程度の箱桁構造に適用しており、桁高1.5 m～2.0 m程度の版桁構造では本橋が初めての適用となる。一般的に版桁橋は箱桁橋に比べ桁高が低く、主桁断面積は小さい。また、適用支間長も版桁橋は箱桁橋に比べて小さい。そのため表-1に示すように箱桁構造のU桁リフティング架設工法と比較し、版桁を中空断面とした本工事では主桁重量が軽量のためリフティングガーダーの作用断面力を軽減できることから、ガーダーの簡素化が図れ、経済性が向上する。またU桁上に配置するプレキャスト板もU桁断面が小さく床版支間が小さいことからPC板ではなく、RC板での対応が可能となる。

主桁充実断面と中空断面の温度応力解析結果を図-6に示す。マスコンクリートとなる充実断面を中空断面とすることで硬化時の内外温度差が少なくなり、ひび割れ指数が大幅に改善される。よって内部拘束による主版外周部におけるひび割れの発生を抑制することができ、コンクリートの品質向上が図れる。

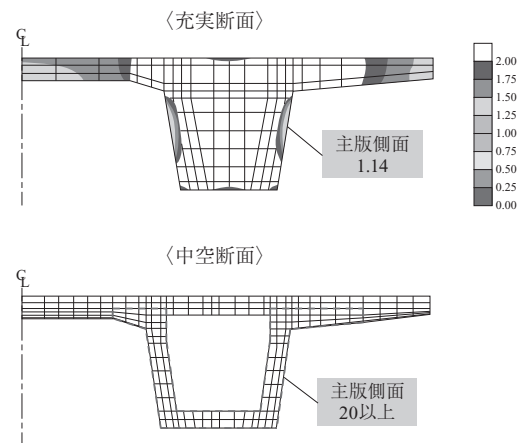


図 - 6 ひび割れ指数の比較

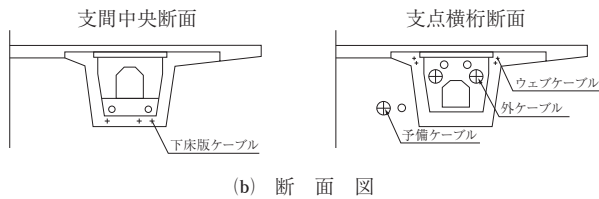
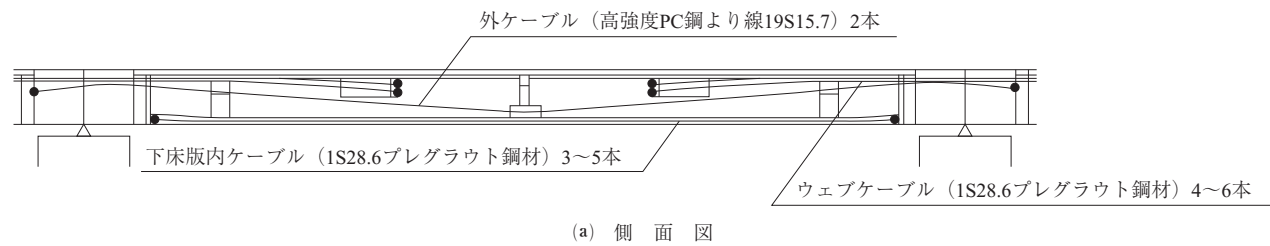


図 - 7 鋼材配置概要図

4.2 PC 鋼材配置

標準的な支間の PC 鋼材配置概要図を図 - 7 に示す。一般的に使用されている外ケーブル（PC 鋼より線 19S15.2）では内ケーブル本数が大幅に増加し U 桁内に配置できず断面が大型化する。そこで、外ケーブルは JIS 規格に規定される PC スtrand と比較し応力レベルで 20 %、荷重レベルで 28 % 強度が増す高強度 PC 鋼より線（19S15.7）とし、1 主桁に 2 本配置し単径間ケーブルとした。また、支間中央において外ケーブルだけでは完成時にプレストレスが不足するため、下床版にプレグラウト鋼材（1S28.6）を支間長に応じて 1 主桁あたり 3 ～ 5 本配置した。さらに、中間支点付近の上床版にプレストレスを導入するために、ウェブ上縁にプレグラウト鋼材（1S28.6）を 1 主桁あたり 4 ～ 6 本配置した。なお、架設時に一時的に必要な PC 鋼材は、架設用の補強 PC 鋼棒（総ねじ PC 鋼棒 $\phi 32$ ）を追加配置し、上床版打設後に撤去した。また、予備ケーブルについては主桁間の支点横桁に定着する構造とした。

主方向の設計は、U 形プレキャスト桁と場所打ち床版に材齢差があり、PC 合成床版構造となることから、場所打ち床版と U 形プレキャスト桁の合成桁として設計し、分割施工による施工工程を考慮した。また、床版は骨組解析では断面力算出が困難であることから FEM 解析により設計した。

4.3 U 桁吊上げ時の検討

4.1 項に記述したように U 桁の断面は左右非対称となる。そのため吊上げ時において U 桁には図心軸からの回転成分が発生する。そこで吊上げ時における U 桁の応力性状やねじり変形に着目した 3 次元 FEM 解析で検証し、立体的な挙動を確認した（図 - 8）。

吊点付近の U 桁内には厚さ 600 mm の隔壁を設置することで架設時のねじり剛性を高める構造とし、開口断面が閉じようとする変形についても抑制した。また、前述した架設用の補強 PC 鋼棒の定着部としても兼用した。

左右非対称であるため同じ下床版内においても発生する応力度は左右で異なる。そこで非対称な応力状態を改善するために下床版に配置した内ケーブルを張出し床版側に集中した非対称配置とし、左右に発生する応力差を軽減し

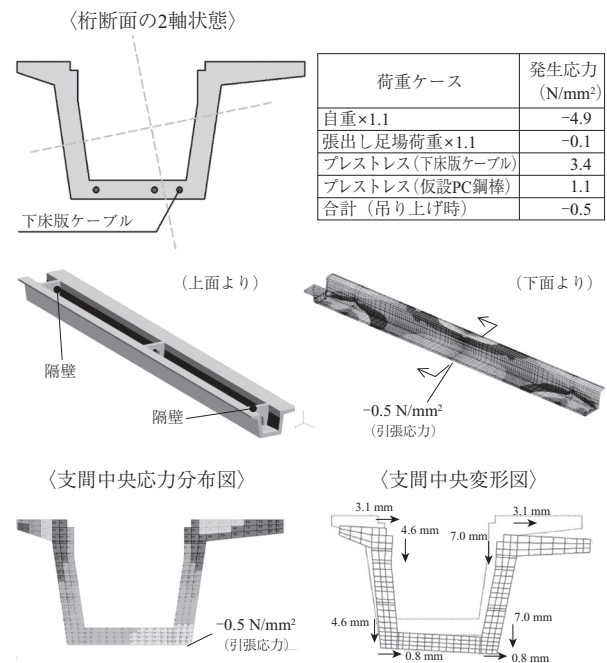


図 - 8 吊上げ時の応力状態

た。

4.4 目地部および中央閉合

本橋では、先行して構築した支点横桁間に U 桁を配置するために橋軸方向鉄筋を連続させることが困難であり、150 mm 程度の目地部を設けた。そこには設計荷重時においても引張応力が発生しないように設計し、コンクリートは膨張コンクリートを採用した。さらに小口面にはせん断キーを配置して、摩擦とせん断キーとでせん断力を受けもつ構造とした。

また図 - 9 に示すようにコンクリート桁には日温度変化による伸縮が発生する。目地部のコンクリートの打設は外気温が低くもともと桁が収縮している早朝とし、外気温が再び下がり始める夕方には強度発現を確認したうえで仮設鋼棒による緊張を行うことで、日温度変化により目地部に引張応力が作用しないよう配慮した。

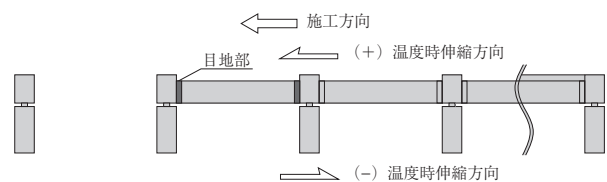


図 - 9 温度変化による移動方向

○ 工事報告 ○

加えて、先行して構築された箱桁部との接合径間部では、若材齢の目地コンクリートが既設の構造物に挟まれる。そのため、日温度変化による桁の膨張により目地部が圧縮破壊することも懸念された（図 - 10）。そこで、写真 - 3 のように H 形鋼とジャッキを用いることで若材齢の目地部に過大な圧縮力が作用しないよう配慮した。なお H 形鋼の本数は構造条件より 2 本配置とし、桁の温度変化によって発生する軸力から規格は H - 200 × 200 とした。

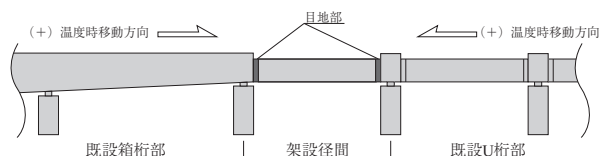


図 - 10 既設箱桁部との接合

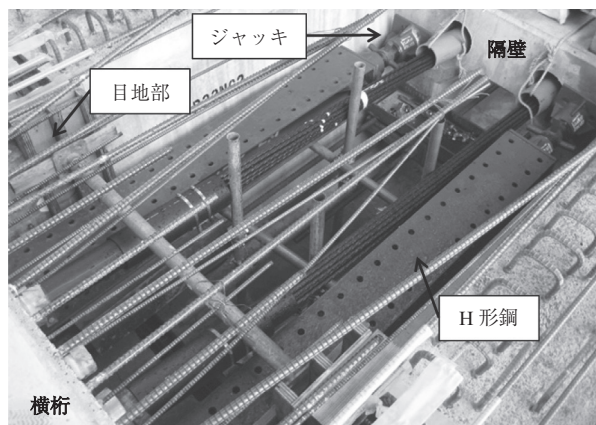


写真 - 3 閉合部の圧縮力に対する対策

4.5 柱頭部パイプクーリング

マスコンクリートとなる柱頭部に対し、内外温度差によるひび割れ発生を抑制するためにパイプクーリングを行った。本方策は福岡 208 号矢部川橋上部工第 1 工区工事などで実績のある工法である³⁾。

使用したパイプは内径 13 mm のポリエチレン管で、間隔はおおむね 500 mm 程度となるように配置し、冷却水を打設直後より通水した。

温度応力解析結果を図 - 11 に、施工状況を写真 - 4 に示す。パイプクーリングを実施しない場合では内部温度が高いため、ひび割れ指数が低くなっているが、パイプクーリングを実施した場合はパイプ周辺の温度が低下し、ほぼ様な温度分布となる。そのため、ひび割れ指数ではパ

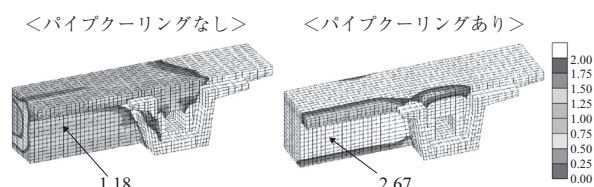


図 - 11 パイプクーリングによるひび割れ指数



写真 - 4 パイプクーリングの実施状況

イプクーリング対策無しで 1.18、パイプクーリング対策有りで 2.67 と、1.5 程度の改善が得られた。なお局部応力に対しては表面鉄筋としてひび割れ補強筋を配置した。

5. 施工概要

5.1 U 桁リフティング架設工法

本橋の標準的な施工ステップを図 - 12 に示す。

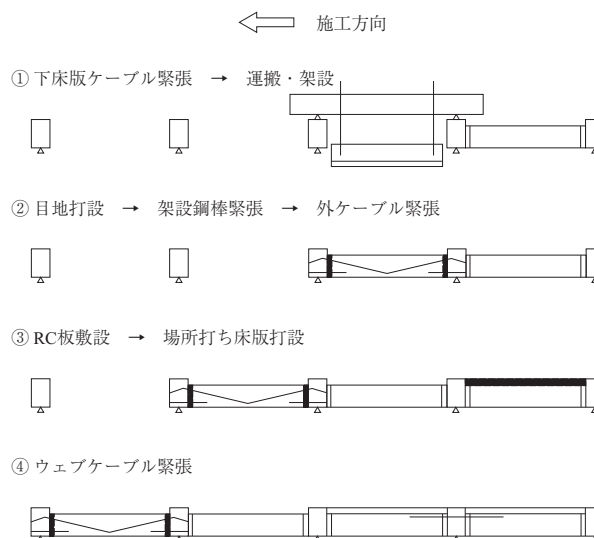


図 - 12 施工ステップ図

(1) 柱頭部の施工

柱頭部はU桁の製作・架設に工程上の影響がないように先行して施工した（写真 - 5）。施工は固定支保工を用いた場所打ち施工とし、支保工がU桁リフティングの際に干渉しないように、架設前までに解体を行った。なおコンクリートの設計基準強度は高強度外ケーブル（19S15.7）の定着に必要な 40 N/mm² としている。

(2) U 桁の製作

U 桁は現場敷地内の上り線パーキングエリア予定地を製作ヤードとして使用して製作した（写真 - 6、図 - 13）。製作ヤードには 1 径間長分の製作ベッドが配置可能であるため、U 桁を橋軸方向に分割する必要はなく、1 径間長分を U 桁長として製作した。コンクリートの設計基準強度



写真 - 5 柱頭部先行施工状況

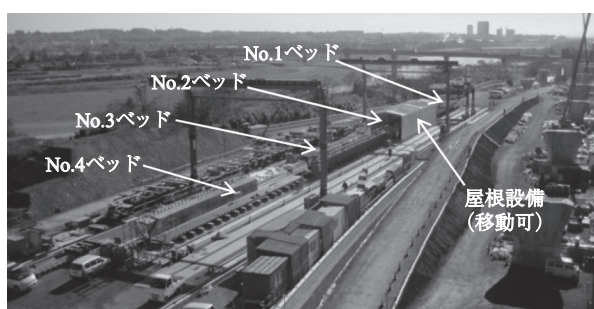


写真 - 6 製作ヤード全景

は、主桁の軽量化と早期に製作ベッドから取出すことを目的として 50 N/mm² の早強コンクリートとしている。

かざられたスペースで製作サイクルの効率を上げるため、製作ヤードには4基の製作ベッドを配置し、屋根設備の設置により悪天候時でも作業を行える環境を整えた。製作ベッドは、ベッド側面からの資材搬入・搬出やU桁の積み込み作業を容易とするため縦列配置とした。また、底枠の4ベッドに対して、側枠は3ベッド分、内枠は2ベッド分とし、側枠と内枠は脱型したのちに隣接するベッドに設置することで仮置きを不要とし転用効率を向上させた。さらに鉄筋の一部を地組みし、型枠組立て後に吊込むことで製作サイクルの更なる短縮を図った。

本橋の支間是多種類存在するため、必然的にU桁の長さが多岐にわたる。そのため管理や製作が煩雑とならぬよう定着突起や隔壁はU桁の端部から一定となるよう設計時に配慮することで製作効率を向上させた。

(3) U桁の運搬

U桁は、下床版内ケーブル (1S28.6) およびU桁内の隔壁に定着する補強 PC 鋼棒 (総ねじ PC 鋼棒φ32) を緊張したのち、製作ベッドから 57t 門型クレーン 2 基で相吊後、横取りして大型トレーラーに積み込み、上下線の橋脚間を架設地点まで場内運搬した (写真 - 7)。U桁には FEM 解析の結果を受け、断面重心位置に合せて吊金物を固定することでバランス良く吊上げ、局部的な応力が発生することを抑制した。トレーラーは、カーブでも進めるように後方台車を単独で操舵できる仕様とし、運搬途中でU桁を損傷させないように低速 (時速 3 km) で走行した。また、後方側は 2 点支持、前方側は球座による 1 点支持としつねに 3 点支持状態を保つことで、U桁のねじれ変形によるひび割れの発生を抑制した。



写真 - 7 U桁運搬

(4) U桁の架設

架設に使用するリフティングガーダーは、定格荷重 114t のクレーン構造であり、上下線に各 1 基ずつ設置した。ガーダーは柱頭部を支持点としており、柱頭部と橋脚の間には地震時の転倒防止として 100t 油圧ジャッキを 1 橋脚あたり 4～6 基配置した。また、ガーダーには手延べ桁が付いており、次径間へは支持台上を送り出して移動できる機構とした。

U桁の架設は、トレーラーで架設地点まで運搬し、リフティングガーダーによって吊上げ、所定の位置までリフティングガーダーを横移動させて行った。また、架設前にあらかじめ張出し床版部の腕木支保工を設置しておき、高所での支保工組立て作業の低減を図った。

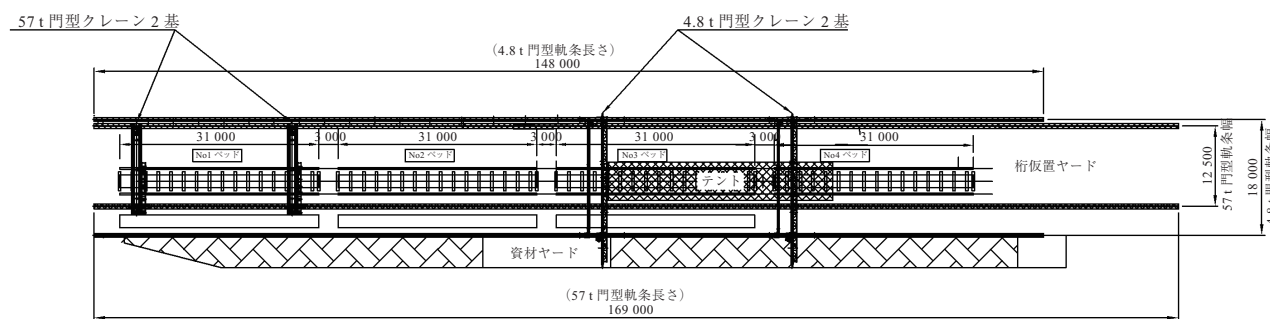


図 - 13 製作ヤード平面図

○ 工事報告 ○

なお、本橋は幅員変化区間を有しており、U桁本数は標準幅員部の2本に対して拡幅部は4本となり、この幅員変化に伴いU桁は橋軸方向に対して最大5°の平面角度をもつ。これに対応するため、横レール上の支持台を角度調整可能な機構とし、リフティングガーダー方向を変化させることでU桁の平面角度を調整した(図-14、写真-8)。

U桁の架設後、目地コンクリートを打設し、強度発現を確認してから外ケーブルを緊張した(写真-9)。目地コンクリート施工時は、U桁はリフティングガーダーに吊られた状態となるため、風による振動や気温変化による桁の

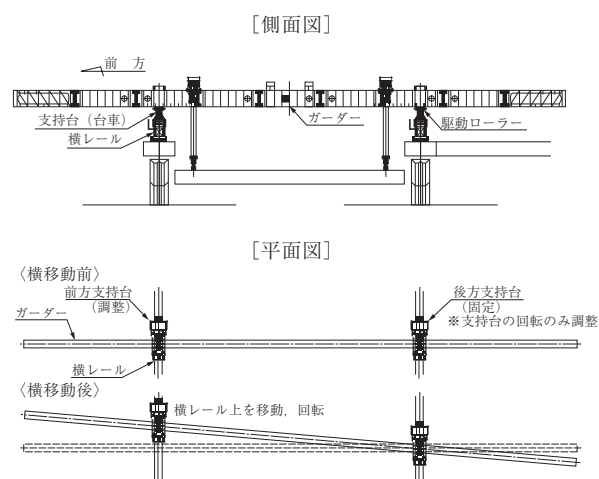


図-14 拡幅部のガーダー移動調整



写真-8 移動調整状況



写真-9 外ケーブル配置状況

伸縮で目地コンクリートにひび割れが生じないように、U桁端部と柱頭部はH形鋼により連結し、PC鋼棒を用いて仮固定を行った。

(5) 場所打ち床版の施工

U桁上には厚さ90mm、設計基準強度40N/mm²の工場製品のプレキャストRC板を設置し、埋設型枠とした。U桁間は吊支保工型枠、張出し床版は腕木支保工型枠を設置し、場所打ち床版を1径間ずつ施工した。床版コンクリートを打設する径間は、U桁を架設している径間との作業性を考慮し、少なくとも2径間以上空けるように配慮した。また、U桁の拘束による収縮ひび割れが懸念されたため、床版コンクリートには膨張材を使用した。

5.2 中間床版部の施工方法

中間床版部の施工は写真-10のように1径間ごとの吊支保工による施工とした。本橋の中間床版部は現場での場所打ちとなるため支保工が必要になる。2本のU桁の張出し床版部より吊鋼棒(総ねじPC鋼棒φ23)を用いる構造とすることで固定支保工を不要とし、現場での支保工の運搬や組立て解体における騒音および振動を大幅に軽減した。

また、この吊型枠設備に関わる高所作業を減らすために、型枠設備を橋軸方向次径間に移動可能な構造とした。型枠の移動の際には中間支点横桁を通過させるため写真-11に示すように横桁の一部(高さ600mm)を中空とす



写真-10 吊支保工



写真-11 支点横桁上の中空部

表 - 2 U 桁の製作および架設サイクル

主桁製作サイクル

(単位: 日)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
U 桁 ①	取出	鉄筋・PC組立				型枠組立		con	養生・脱型	pre	取出														
U 桁 ②					取出		鉄筋・PC組立			型枠組立		con	養生・脱型	pre	取出										

表は2ベッド分のサイクルを表記, 4ベッドで月8本の桁を製作 (1ベッド2週間サイクル)

主桁架設サイクル

(単位: 日)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
標準架設1径間 (主桁本数2本)													
		鉄筋・架設	PC挿入・pre	解放									
		目地con			遠征・架設	目地con	PC挿入・pre	解放					
													ガーダー移動

表はリフティングガーダー1基のサイクルを表記, 2基で月8本の桁を架設

る構造とした。実施工においては工程の都合により行ったのは一部であった。今後、施工性を踏まえ更なる検討の必要がある。

5.3 工程短縮について

U桁製作・架設の施工サイクルを表-2に示す。U桁の製作サイクルと架設サイクルを同一日数とすることで、製作したU桁の仮置きやストックを不要とし、工程上のロスをなくすることが可能となった。U桁製作ベッドを4基、リフティングガーダーを上下線で各1基を使用して、サイクル工程は2週間で上下線1径間ずつ、合計4主桁の架設を行った。

一般的な2主版桁橋を固定支保工施工で行う場合、1径間の施工に通常30日程度要する。一方、U桁リフティング架設工法は場所打ち床版部があと追いで施工できるため、2週間で次径間へ施工箇所を移っていくことが可能となり、2倍程度の施工速度となる。最終的に、本橋ではU桁リフティング架設工法を適用したことで、標準的な場所打ち支保工の版桁橋の施工と比べて全体工期を約6箇月短縮することができた。

なお、本工法の過去の事例では上下線を同時に施工している。一方、本橋では上下線に各1基ずつのリフティングガーダーを使用し、下り線側を上り線側より4径間分先行して施工している。上下線の施工時期をずらすことで、サイクル施工の短縮や人員配置の効率化をさらに図ることができた。

6. おわりに

本橋では、過去に箱桁橋で実績があるU桁リフティング架設工法を版桁橋に初めて適用した。場所打ちの充実断面構造をプレキャストの中空断面構造としたことで、コンクリートの高品質化や大幅な工程短縮につながった。

今後も本橋と同じく版桁橋の支間長(20～35m)で計画される大規模な都市内高架橋での適用が期待される工法である。また、上・下部工の計画段階から本工法を採用できれば、重量を大幅に軽減できるため、支承や下部工の規模を抑えることができ、コストを削減することが可能となる。

本工事は、今年4月に無事故・無災害で竣工することができた(写真-12, 13)。関係各位のご協力に対し、深く感謝したい。



写真 - 12 完成写真①



写真 - 13 完成写真②

参考文献

- 1) 水野, 大國, 室田, 河野, 玉置, 諸橋: U桁リフティング架設工法を採用したPC橋の設計・施工; 橋梁と基礎, vol.43, No.6, pp.2~pp.11, 2009.6
- 2) 手塚, 間宮, 北川, 瀧本, 齋藤, 紙永: 圏央道 中野高架橋北工事の設計・施工; 橋梁と基礎, vol.45, No.6, pp.2~pp.11, 2011.2
- 3) 村上, 瓜生, 岡部, 山上: 矢部川橋梁における簡易パイプクーリングによるマスコンクリート温度抑制対策; 第17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.123~pp.126, 2008.11

【2013年7月3日受付】