

多径間連続高架橋の急速施工およびコスト縮減 を両立するU桁リフティング架設工法の適用 ー第二京阪道路・茄子作地区PC上部工事ー

水野浩二¹・大國喜朗¹・室田 敬²・河野信介³・諸橋 明²・玉置一清⁴

¹国土交通省 近畿地方整備局 浪速国道事務所（〒573-0094 大阪府枚方市南中振3-2-3）

²三井住友建設株式会社 大阪支店土木部（〒541-0041 大阪市中央区北浜4-7-28）

³工修 三井住友建設株式会社 大阪支店土木部（〒541-0041 大阪市中央区北浜4-7-28）

⁴正会員 工修 三井住友建設株式会社 土木技術部（〒164-0011 東京都中野区中央1-38-1）

U桁リフティング工法とは、現場内の製作ヤードで、U形断面プレキャスト桁を製作し、場内運搬して橋体を架設、構築するものである。本工事では、1径間分、最大240t、最大長さ37mのU桁をリフティングガーダーにて一括吊上げし、PC板を敷設、場所打ちにより上床版を打設して主桁を構築し、4主箱桁を2週間に1径間という施工速度を実現した。また、コスト面では、同じく急速施工を目的とする従来のスパンバイスパン架設工法に比べ、架設ガーダーの曲げモーメントを1/6に低減可能となり、ガーダー重量の大幅な軽量化により大幅なコスト縮減を実現した。

キーワード：急速施工、リフティング一括架設、プレキャスト桁、スパンバイスパン工法

1. まえがき

現在建設が進められている京都と大阪を結ぶ第二京阪道路は、国道1号の慢性的な渋滞解消を目的として6車線の自動車専用道路と2～4車線の一般道路からなる国道1号のバイパスである。路線の大半が住宅地に近接した工事となるため、植栽帯や幅員20m程度の環境施設帯の設置など、沿道への環境対策や景観に重点をおいた事業計画であり、「緑立つ道」の愛称で親しまれている。

茄子作PC上部工事は、大阪府交野市の市街地を通過する工事延長898mの自動車専用部2橋と掛違いに接続するON・OFFランプ橋の4橋からなる橋梁工事であり、橋梁構造物の品質・耐久性確保に加え、急速施工と周辺環境への負荷軽減を特に重要な評価点とした設計施工一括発注方式により発注し、これらを同時に実現する画期的な新工法である

「U桁リフティング架設工法」を採用した。

2. 工事概要

橋梁断面図を図-1に、側面図を図-2に示す。橋長790mのPC20径間連続箱桁橋は、平均支間長が39.5m、桁高2.8m一定である。自動車専用部の標準幅員は、上下線合計で29.64mであり、4主箱桁構造である。

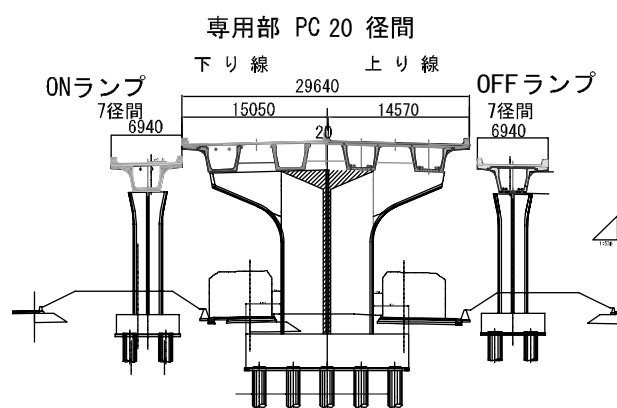


図-1 橋梁断面図

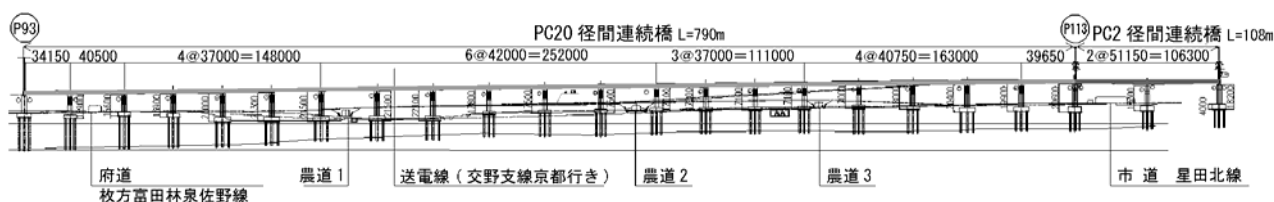


図-2 橋梁側面図

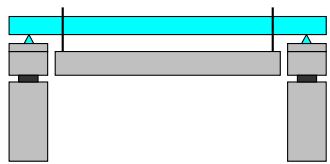
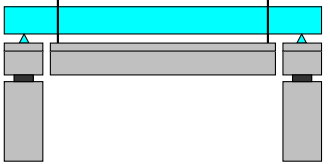
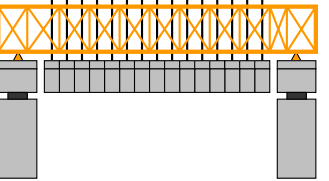
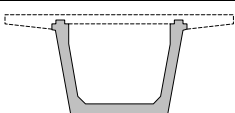
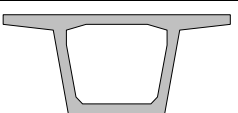
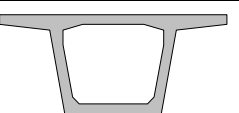
架設工法	U桁リフティング架設工法	一括吊り上げ工法	一般的なスパン・バイ・スパン工法
架橋地点の条件	プレキャストの製作ヤードが確保できる		プレキャストの製作ヤードが確保できない
工法イメージ図			
主桁断面の構築方法	合成断面 (U桁架設後に床版を場所打ち)	箱形断面	箱形断面
			
ガーダーに作用する最大モーメント	4100 kN・m	6800 kN・m	23000 kN・m
	18%	30%	100%

図-4 ガーダーに作用する曲げモーメントの比較

3. U桁リフティング工法の特徴

(1) 既存技術の特徴

支間や桁高が比較的均一に計画された大規模な都市内高架橋の建設には、主桁を輪切り状に分割したプレキャストセグメントをコンクリート工場で製作し、一般道を使って架設地点まで運搬し、1支間ごと一括して架設するスパンバイスパン工法に代表されるプレキャストセグメント工法が、高品質化や工期短縮などの点で有利であると考えられてきた。しかし、1支間分全てのプレキャストセグメントの全重量を架設ガーダーで受けた状態で、プレストレスを与えて主桁を一体化させなければならないために、非常に大型の架設ガーダーが必要になり、これがコストアップの一因ともなっていた。

一方、最も汎用的な施工法である支保工施工は、コスト的には優位性があるが、スパンバイスパン工法に比べると施工速度が遅く、一般的には急速施工には適さない。工程短縮が必須である場合には、一度に多くの箇所を同時施工することになり、支保工などを含む建設資材用トラックなどの運搬密度が大きくなり、環境負荷や周辺交通への影響が懸念される。

(2) 新工法の概要

本工事では、下部工事がすでに終了しており、大型桁製作の施工ヤードの確保と大型特殊トレーラを用いた場内運搬が可能である施工条件であったことから、20径間の専用部に対して、以下に示すU桁リフティング架設工法を採用した。

U桁リフティング架設工法の施工概要を図-3に示す。U桁リフティング架設工法とは、現場内の製

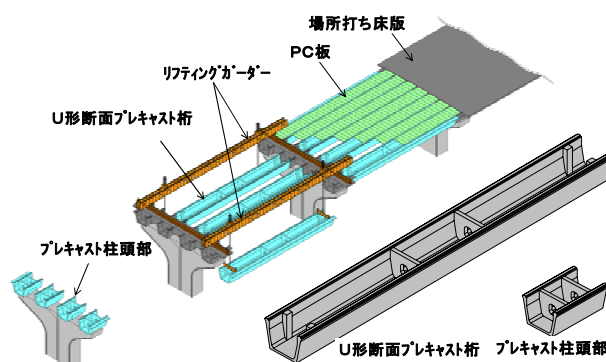


図-3 U桁リフティング架設工法の施工概要図

作ヤードで箱桁の下床版とウェブのみであるU形断面プレキャスト桁（以下、U桁）およびプレキャスト柱頭部を製作し、場内運搬して橋体を架設、構築するものである。主桁の架設は、最大 240 t、最大長さ 37mのU桁を橋脚間に設置したリフティングガーダーにて一括吊り上げし、間詰めコンクリート打設後に単径間ごとの外ケーブルを緊張することで、自立させる。その後、PC板の敷設、現場打ち床版コンクリートを打設する、いわゆるPCコンボ技術¹⁾により断面を構築する。

本工法では、1支間分の長さのプレキャスト桁を、橋脚に近い、すなわち支持点に近い位置でリフティングガーダーを用いて吊り上げることにより、ガーダーに作用する曲げモーメントを極めて小さく抑えることを可能とした。さらに、第二名神高速道路の古川高架橋²⁾（2002年完成）で実用化したU形断面の桁構造を適用することで、上床版を後からの施工として吊上げ重量を一層軽減した。これらによりガーダーに作用する曲げモーメントを従来のスパンバイスパン工法の約 1/6 に低減でき、ガーダーの大幅な軽量化が可能となった（図-4 参照）。

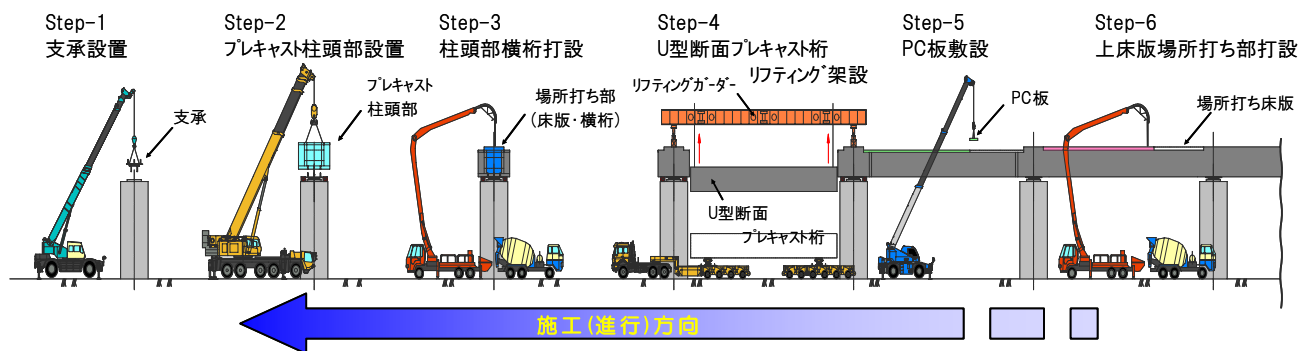


図-5 施ステップ図

表-1 U桁の製作サイクルと架設サイクル

主桁製作サイクル：1ベット2週間サイクル → 2ベットで月に4本製作

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
桁 ①		con	脱型		Pre	積込	鉄筋・PC組立					型枠組立				con	脱型		Pre	積込	鉄筋・PC組立		
桁 ②			con	脱型		Pre	積込		外枠組立	鉄筋・PC組立						内枠	con	脱型		Pre	積込		

※中桁も同様のサイクルで行い、4ベットで合計8本の桁を製作

主桁架設サイクル：リフティングガーダー2基で1週間に2本架設(月に4本架設)

						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
架設1径間						運搬		架設	架設	con		Pre	架設		架設	con		Pre		運搬		
								①	②	間詰			③		④	間詰			ガーダー移設			

4. 本工事における施工サイクル

(1) 施工の流れ

本工法の施工ステップを図-5に示す。本工法は、以下の6ステップが交錯することなく現場内に常に展開されているものである。Step4に関わるU桁の製作、場内運搬、一括架設が全体工程において、クリティカルとなる。

Step 1 支承を設置

Step 2 プレキャスト柱頭部を設置

Step 3 柱頭部横桁へコンクリートを打設

Step 4 U桁の一括架設 ← 場内運搬 U桁の製作

Step 5 上床版施工用のPC板を敷設

Step 6 上床版の場所打ち部へコンクリートを打設

(2) U桁製作および架設のサイクル工程

U桁の製作サイクルは、U桁架設サイクルと同一日数とすることが、製作したプレキャスト桁の仮置・ストックを不要とでき、最も効率的となる。表-1に、U桁製作および架設のサイクル工程を示す。本橋では、U桁製作ヤードを4ベット、リフティングガーダーを2基使用し、2週間サイクルで1支間分の架設を実現している。

次章に、その詳細を示す。



写真-1 プレキャスト柱頭部桁架設状況

5. 施工概要および架設時の検討

施工の概要および架設時における主な設計的検討も合わせて、以下に記述する。

(1) 柱頭部桁の製作・施工

外ケーブル定着体や鉄筋が混在する柱頭部の施工は、支間部のU桁架設に対して、クリティカルとならぬよう、常に先行して施工を行う必要がある。このため、柱頭部セグメントは、上床版と内空を除くU型断面とし、橋脚上に設置後に、内空と横桁を現場打ちコンクリートで充填するハーフプレキャスト構造とした。また、作業効率を高めるため、構造寸法や補強のパターン化を進め、4主桁構造を4基の製作ベッドで製作し、工程の短縮を図った。



写真-2 U桁製作ヤード全景



写真-4 U桁の場内運搬状況



写真-3 U桁の積み込み状況

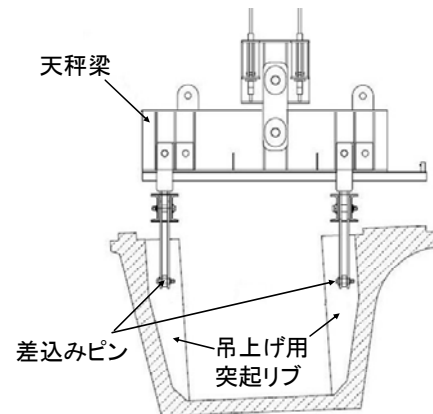


図-6 U桁吊上げ支持構造

(2) U桁の製作

限られた敷地内で、4本(1径間分)/2週間の製作サイクルを実現するため、以下の要領で製作ヤードの縮小を図った。

- a) 桁側面からの資材搬入が可能で、場内側道部分をヤードとして有効に活用するため、製作ベッドは、縦列に4箇所とした(写真-2 参照)。
- b) 底枠の4ベッドに対して、側枠、内枠は2ベッド分とし、1次施工側(2ベッド)の側枠、内枠は脱型後に隣接ベッド(2次施工側)に設置するという方式で、転用効率を高めた。
- c) b)による2次施工側(2ベッド)では、先行して鉄筋、PCを組み立てておく。

上記 b), c)により、異なる作業工種が集中することなく分散し、サイクル性を持って行えるため、効率良い作業、サイクル短縮が可能となった。また、柱頭部製作ヤードと同様に、移動式の屋根設備の設置により、天候の影響を受けないことも大きな利点である。

(3) U桁の場内運搬

U桁製作後、横移動装置により製作ベッドから大型特殊トレーラーに積み込み(写真-3 参照)、架設地点まで場内運搬(写真-4 参照)した。

場内運搬に際しては、路面の傾斜や不陸に対して、U桁にねじりモーメントが生じないように、前輪は回転台+ウェブ直下の2点支持として、後輪側は全周球座+横梁の1点支持として、ねじり方向の回転をフリーにしている。運搬経路内の直下にはボックスカルバート等の既設構造物があったため、仮支柱等により補強を施し、U桁運搬を可能とした。

(4) U桁の吊上げ

a) 一括吊上げ時の支持構造

U桁吊上げ時の支持構造を図-6に示す。斜ウェブを有するU形断面では、吊り点をウェブ直上に設けた場合、吊上げ荷重により斜ウェブには内側に倒れる方向の力が作用する。これを回避するために、ウェブ内側に設けた突起リブを支持することで、ウェブに作用する偏心応力を低減する構造とした。吊点の構造詳細は、支持構造が単純であり、力学的に



写真-5 U桁吊上げ状況①



写真-6 U桁吊上げ状況②

明解である差込みピン構造としている。吊上げ中は、差込みピンを天秤梁を介して両端 2 点支持構造とするため、運搬時同様、吊り上げ中には、ねじりモーメントは発生しない構造となる。写真-5 および写真-6 に、U 桁一括吊上げ時の状況を示す。

b) 一括吊上げ時の構造検討

U 桁吊上げ架設中、突起リブ近傍には局部的に大きな応力が生じる。この局部応力については、3 次元 FEM により設計を実施しているが、吊上げ荷重の偏載等、不測の事態が生じた場合のひび割れ発生に対する安全率の把握と、万一ひび割れが生じた場合、その進展具合を確認するため、実物大模型を作成し、吊上げ設計荷重の 2 倍まで載荷実験を実施した。試験体は、吊上げ用突起リブを設置する U 桁端部から 3m 区間の実物大模型とし、実際と全く同じ配筋とした。また、載荷実験終了後には、PC 板を敷設し、上床版の場所打ちコンクリート打設も再現し、張出し床版の型枠・支保工構造の検証も併せて実施している。実物大模型実験状況を写真-7 に示す。

(5) U 桁の位置調整

U 桁を所定の高さに吊上げた後、設置位置の最終調整を行うため、U 桁を 4 点支持に盛替え、ジャッキにより高さの調整を行う。この時、桁両端の勾配調整の同期させない場合、U 桁には、架設時初めてとなるねじりモーメントが発生する。設計段階において、U 桁に強制ねじりを与えた FEM 解析の結果



写真-7 実物大模型載荷試験状況

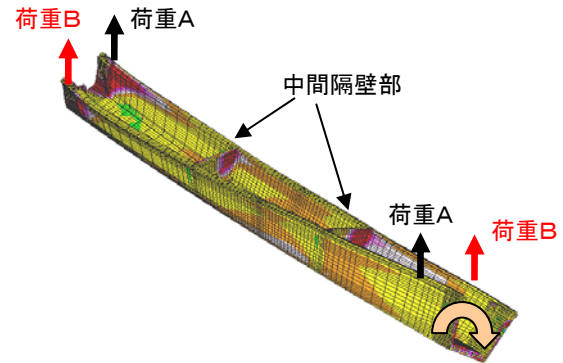


図-7 強制ねじり変形時の主応力

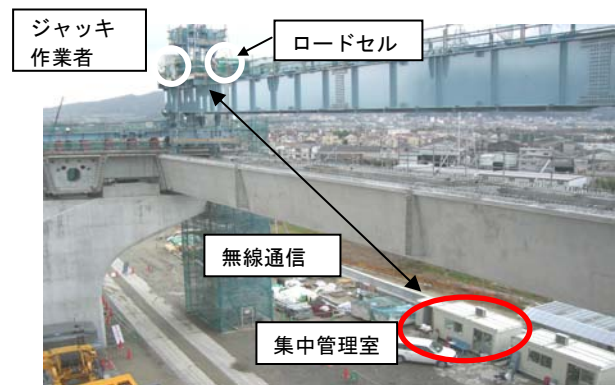


写真-8 U 桁の設置位置の調整状況

(図-7 参照)、U 桁本体は、開断面でありねじり剛性が低いため、両端の勾配差 1.3% と、比較的大きな変形が生じるまで、ひび割れは生じないが、ねじり剛性が大きくなる中間隔壁部に、0.3% の僅かな勾配差でひび割れが生じる可能性があることがわかった。

この最終位置調整時のねじりモーメントに対する管理方法を以下に示す。

U 桁を 4 点で支持した場合、桁のねじりに対して、吊り荷重は対角となる吊り点荷重が等しくなるよう変化する。3 次元 FEM の結果、勾配差 0.3% では、荷重 A と荷重 B (図-7 参照) の変化量は、 $\pm 80\text{kN}$ となる。そこで、最終調整時に 4 本の吊り鋼棒全てにロードセルを設置し、この吊り荷重の変化量を $\pm 50\text{kN}$ に管理することで、ねじり勾配を 0.2% 以内に

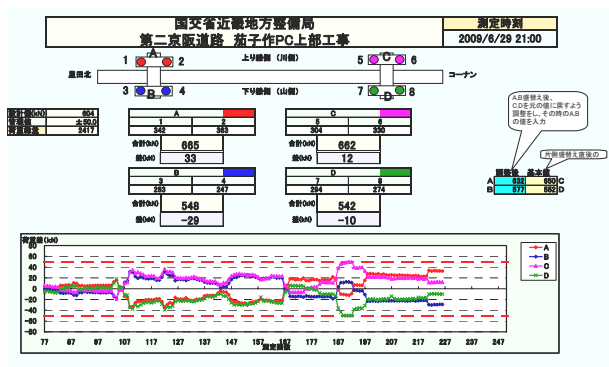


図-8 U桁位置調整時の管理画面



写真-9 リフティングガーダー吊上げ状況

なるよう管理を行った。4 点のロードセルの荷重は、桁下に設置した集中管理室でリアルタイムにモニタリングし、桁両端の勾配差が 0.2% 以内になるよう、つまり荷重差が 50kN 以内になるよう、架設ガーダー上のジャッキ作業者と無線連絡を行いながら、最終位置調整を実施した(写真-8 参照)。

図-8 に、荷重管理時の管理画面の一例を示す。

6) リフティングガーダーの径間移動

U 桁架設後、柱頭部と U 桁間の間詰めコンクリートを打設し、強度発現後に単径間の外ケーブルを緊張し、U 桁が自立した時点でリフティングガーダーを U 桁から解放する。

リフティングガーダーの次径間への移動は、橋梁側方に施工ヤードが確保できたため、大型クレーンを使用して行った。手順は、①大型クレーンにてトレーラーに積み込み、②トレーラーにて径間移動、③大型クレーンにてリフティングガーダーの架設である(写真-9 参照)。

(7) 床版部の施工

床版部の施工は、P C コンが橋の合成床版の施工と同様、P C 板 (1.0m×3.3m×厚さ 100mm) を U 桁支間部に 1 スパン当たり約 260 枚敷設(写真-10 参照)し、床版鉄筋組立後、床版コンクリートを打設した。床版コンクリートには、施工中一時的に、



写真-10 床版施工状況 (P C 板敷設時)

温度応力と次径間コンクリート打設時の影響による応力が発生する。これらに対し、設計時に温度解析を実施し、床版コンクリートの適切な打設時期の検討や使用コンクリートを膨張材+普通セメントによる収縮補償とすることで初期ひび割れの発生リスクの低減を図った。

床版部の施工は、20 径間をおよそ 10 ヶ月で施工した。

6. あとがき

本工事は平成 21 年 3 月 4 日に無事工期内竣工を迎えることができた。本工法は近年我が国で急速に発展してきたプレキャストセグメント工法の新たな展開の一つであり、工程短縮、品質の確保、架橋地点周辺の環境負荷の低減、コスト縮減の観点から意義のある取り組みになったと考えている。橋梁の架橋条件は様々であり、各条件に適合した工法の開発がこれからも展開していくものと期待される。本工事の成果が今後の橋梁計画に少しでも参考になれば幸いである。

最後に、本工事に関して多大なるご指導、ご協力を賜りました関係各位に、この場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所、(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：コンクリート橋の設計・施工の省力化に関する共同研究報告書(Ⅱ)，(1998.12)
- 2) 池田博之，春日昭夫，水口和之，室田敬：古川高架橋の設計と施工(上)，橋梁と基礎 Vol.35，No.2，pp.2～9(2001.2)