

交差点急速立体化施工法

—クイックブリッジ工法 小坂高架橋の施工—

技術委員会 架設小委員会

1. はじめに

都市内における交差点の交通渋滞を解消する方策として、立体交差化工事が各地で進められている。しかし、施工時には交通規制によって二次渋滞が生じることから、規制を最小限に抑える急速施工への社会的要請が高まっている。

小坂高架橋は、国道11号線と国道33号線が交わる小坂交差点（愛媛県松山市）の立体交差橋であり、クイックブリッジ工法¹⁾の最初の実施例である。本工法は、上部工と基礎工との同時施工、および重量移動台車（以下、ドーリーと呼ぶ）による一括移動架設を用いることで急速施工を実現するものである。

また、アプローチ側の1径間（P12～A2）には、桁下の厳しい建築限界に対応しつつ騒音・振動を低減する単純合成床版橋²⁾（パワーブリッジ）を採用した。

橋梁一般図を図-1、標準断面図を図-2、工事工程表を表-1に示す。ここでは、急速施工法のクイックブリッジ工法の特徴である鋼管ソケット接合部、ラーメン構造および一括移動架設について紹介する。

2. 工事概要

工事名：平成16～18年度 小坂高架橋工事
 発注者：国土交通省 四国地方整備局 松山河川国道事務所

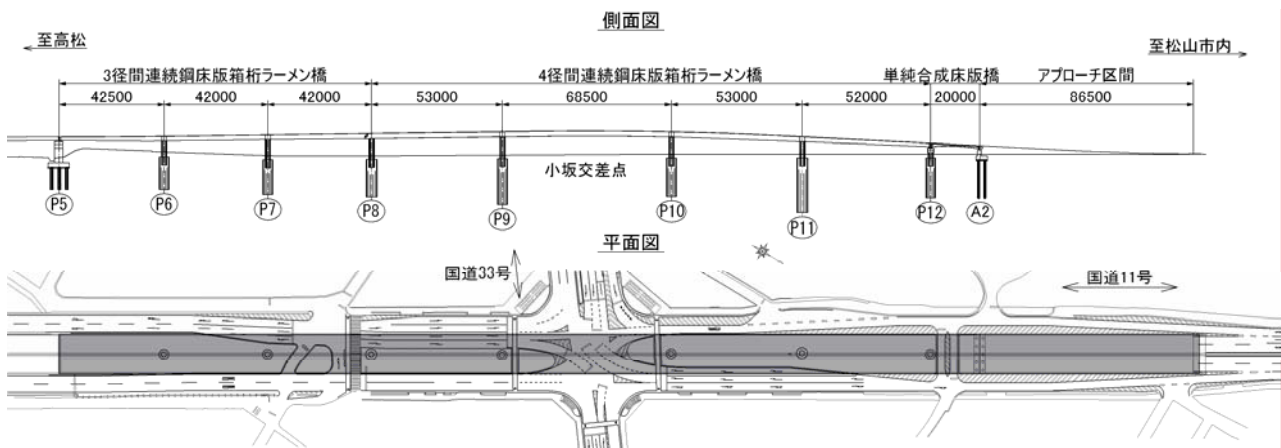


図-1 橋梁一般図(単位:mm)

表-1 工事工程表

	平成17年												平成18年												平成19年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
詳細設計																											
工場製作																											
仮設備工																											
基礎工																											
橋台工 (A2)																											
圧入式オープンケーソン基礎 (P6～P12)																											
上部工																											
地組立および一括移動架設 (P8～P9)																											
" (P9～P10)																											
" (P10～P11)																											
架設工 (P5～P8)																											
" (P11～A2)																											
合成床版工 (P12～A2)																											
アプローチ施工																											
舗装工 (橋面)																											
" (高架下)																											
現道車線規制																											

★印：一括移動架設

請負者：横河・森組異工種建設工事共同企業体
 工期：H17年 3月 17日～H19年 3月 30日
 施工場所：愛媛県松山市枝松～小坂
 橋梁形式：3径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋 (①),
 4径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋 (②),
 単純合成床版橋 (③)
 基礎工：圧入式オープンケーソン (P6～P12: $\phi=4.0$
 $\sim 4.5\text{m}$, $L=13.5\sim 22.5\text{m}$), 場所打ち杭
 (A2: $L=16.0\text{m}$)
 橋長：373.0 m (CL上)
 支間長：41.85+42.00+39.85m (①: P5～P8),
 53.00+68.50+53.00+51.35m (②: P8～P12),
 19.20m (③: P12～A2)
 幅員：7.25+1.00+7.25m=15.50m
 縦断勾配： $i=5.0\%$ (最大), 横断勾配： $i=2.0\%$
 平面線形： $R=\infty$ (直線)
 架設工法：ドーリー一括移動+クレーンベント工法

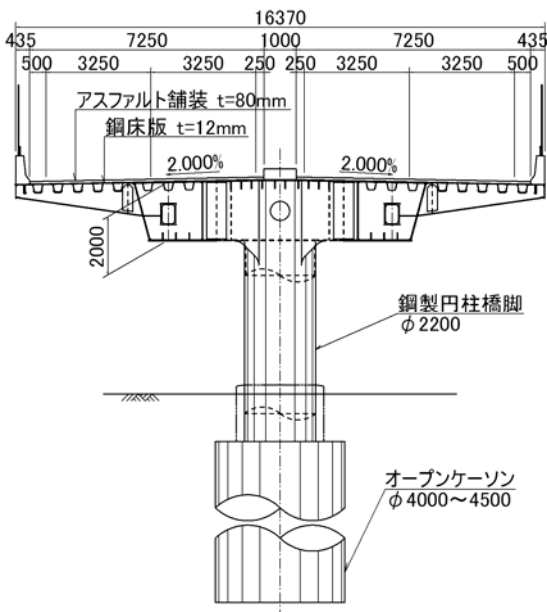


図-2 標準断面図(単位:mm)

3. 基礎との接合部の設計

3.1 構造の特徴

鋼製橋脚と基礎（圧入式オープンケーソン）との接合部には、橋脚と基礎とをフーチング・アンカーフレーム等を介さずに直接連結する鋼管ソケット接合方式を採用した。接合部の概要を図-3に示す。圧入式オープンケーソンと鋼管ソケット接合の採用により、一般的な場所打ち杭やフーチングを用いる工法に比べ、施工スペースの縮小を図ることができる。

鋼管ソケット接合は、鋼製橋脚をケーソン基礎の上部に設置した鋼管（以下、ソケット鋼管と記）の中に差し込み、その隙間にコンクリートを充填し接合するものである。この接合方式は、鉄道関連の構造物では標準的な接合法として多くの採用実績があるが、道路橋での採用実績は少なく、大規模構造物での採用は初である。

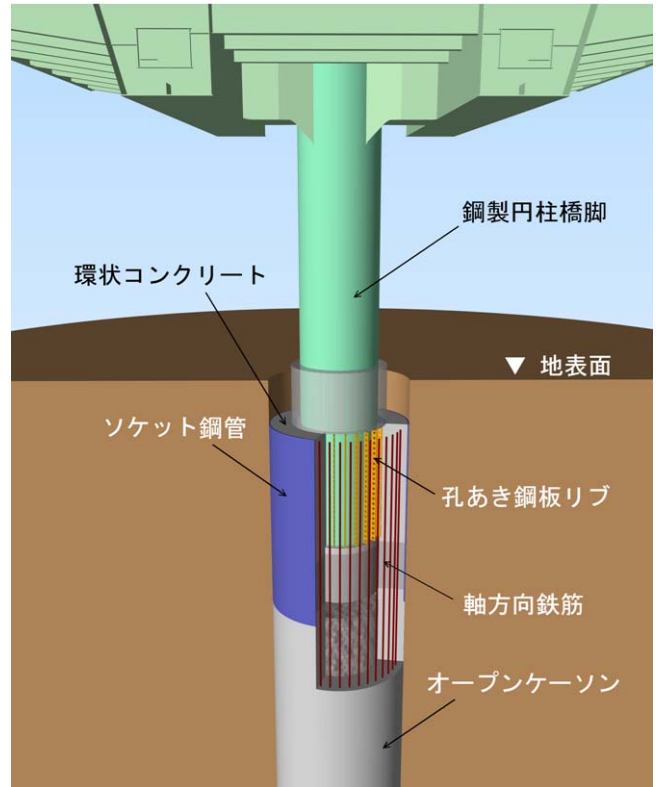


図-3 鋼管ソケット接合部

3.2 要求性能の設定

鋼管ソケット接合部は、鋼製橋脚と基礎とを連結する構造であり、その要求性能は、道路橋示方書・同解説（以下、道示と略す）V耐震設計編³⁾のアンカー部の規定にもとづいて、次のとおり設定した。

- ① 常時およびレベル1地震時に対して耐震性能1（発生する応力が許容応力度以下）を確保する。（道示V2.2(4)より）
- ② レベル2地震動に対して塑性変形を生じさせない。（道示V11.1(3)より）
- ③ 鋼製橋脚の水平耐力と同等以上の耐力を有する。（道示V11.4より）

また、設計での想定を超える外力（レベル2地震動以上）が作用した場合にも、鋼製橋脚基部の塑性化により終局に至る破壊モードとなるよう、各部材の有する耐力の大小関係を以下の通りとした。

鋼製橋脚 < 基礎(ケーソン部) < 鋼管ソケット接合部

3.3 接合部の設計

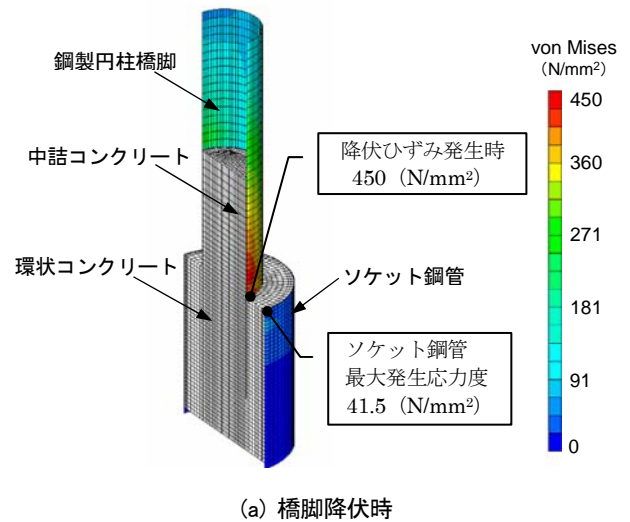
上記の要求性能を満足させるために、次の2条件を満たすように設計した。

- ① 接合部の設計曲げ耐力が、橋脚基部（コンクリート充填鋼製橋脚）の終局曲げ耐力の1.4倍（安全率）を上回ること。
- ② 接合部の設計曲げ耐力が、基礎（オープンケーソン）の終局曲げ耐力を上回ること。

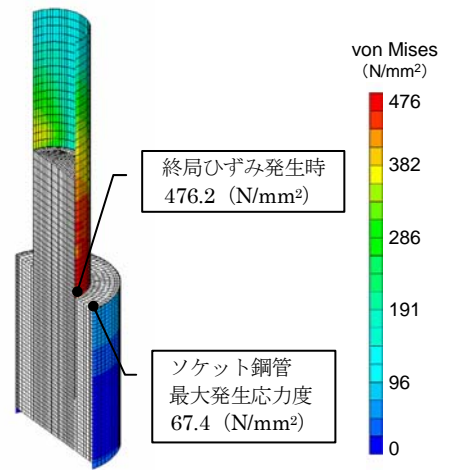
ここで、鋼管ソケット接合の設計曲げ耐力は、鉄道構造物等設計標準・同解説⁴⁾の耐力評価式（以下、鉄標式と略）により算出した。接合部の耐荷モデルおよび耐力評価式を図-4に示す。鉄標式は、別途、模型実験を行い道路橋への適用の妥当性を確認した^{5), 6)}。また、実験で耐力向上の効果が示された孔あき鋼板リブ（以下、PBLと記）を差込み部の橋脚外面に設置する構造を採用し、より安全性の高い構造とした。

PBLの設計は、ずれ止め耐力が橋脚基部の終局曲げ耐力を上回ることとした。PBLによるずれ止め耐力の評価方法を図-5に示す。

常時および地震時の安全性の照査（前節の要求性能①, ②）は、接合部をモデル化した3次元非線形FEMにより行った。ここで、モデル化および解析方法の妥当性は、模型実験の再現解析によるキャリブレーションを行い検証した。図-6に解析結果の一部を示す。

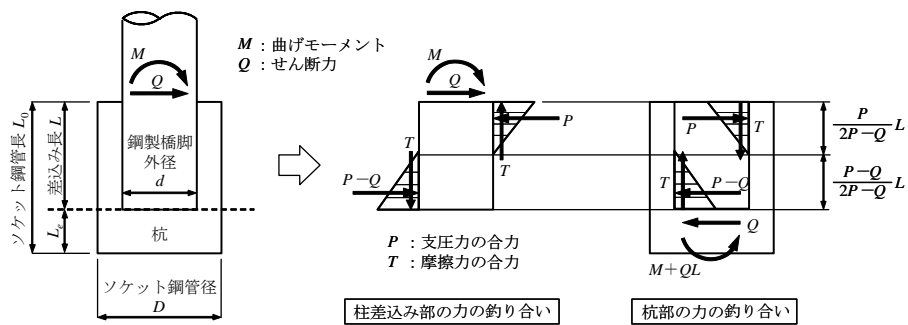


(a) 橋脚降伏時



(b) 橋脚終局時

図-6 鋼管ソケット接合部のFEM結果



$$M_u = T \cdot \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) \cdot d - \frac{L \cdot P^2}{3(2P-Q)} + (P-Q) \cdot \frac{L(5P-2Q)}{3(2P-Q)} \quad \dots (1)$$

$$M_{ud} = M_u / \gamma_b \quad \dots (2)$$

- ここに、
- M_u : 鋼管ソケット接合部の曲げ耐力
 - M_{ud} : 鋼管ソケット接合部の設計曲げ耐力
 - T : 鋼製橋脚に作用する摩擦力の合力の最大値
 - P : 鋼製橋脚に作用する支圧力の合力の最大値
 - Q : 曲げ耐力時の作用せん断力
 - d : 鋼製橋脚の外径
 - L : 差込み長
 - γ_b : 部材係数 (=1.05)

図-4 鋼管ソケット接合の耐荷モデルと耐力評価式⁴⁾

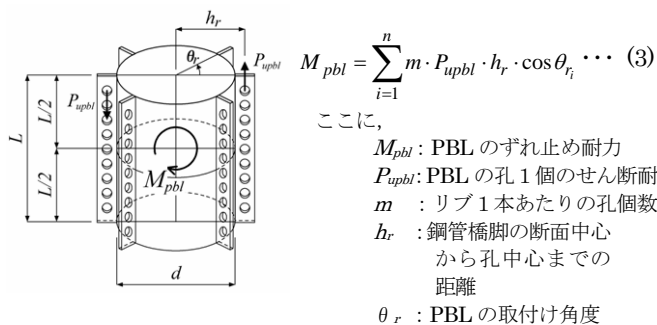


図-5 PBLの耐荷モデルとずれ止め耐力評価式⁵⁾

3.4 維持管理性

実験などから、接合部はレベル2地震動が作用した後も健全であると考えられる。そのため、アンカーフレームを用いる通常の鋼製橋脚基部と同様に、根巻きコンクリートで保護したメンテナンスフリーの構造とした。ただし、接合部に発生しうる不測の損傷として、鋼材の腐食およびコンクリートの劣化の2種類を想定し、これらの発生防止のための以下の対策を講じた。

- ① 鋼製橋脚のコンクリート埋込み部に外面塗装を100mm 塗込み
- ② ソケット鋼管の板厚に腐食減厚1mmを考慮
- ③ 環状コンクリートに膨張材を使用（ひび割れ、界面の肌隙の発生防止のため）
- ④ 環状コンクリートの上面に防水層を設置（万一ひび割れが発生した場合にも、土中水分の浸入による劣化を防止するため）

4. 上部構造の設計

4.1 主桁(ラーメン)構造

4.1.1 設計方針

上部構造の構造解析は、基礎バネを考慮した上下部一体の3次元立体骨組モデルを用い、常時および温度荷重（±30℃温度変化）を組み合わせた荷重により解析を行った。その結果、主桁の軸方向力による発生応力は最大20N/mm²程度のため、主桁は「主として曲げモーメントとせん断力を受ける部材」、橋脚は「軸方向力と曲げモーメントを受ける部材」として設計した。

上部構造の地震時の要求性能は、レベル1地震動に「耐震性能1」、レベル2地震動に対しては「耐震性能2」を確保した。レベル2地震動に対する照査は、動的照査法により、非線形動的解析を行った。主桁を線形梁要素、橋脚は充填コンクリートの影響を考慮したフ

アイバー要素でモデル化した。橋脚下端の拘束条件は、モデル化の妥当性を確認したうえで、基礎バネ（集約バネ）として評価した。なお、液状化が生じると判断される地盤があるため、液状化の有無の両条件にて動的解析を行い、安全側の設計を行った。

4.1.2 架設系の考慮

設計では架設工法を考慮し、一括移動架設を採用するP8～P12間のラーメン橋は、架設順序にしたがってステップ毎の解析を行い、その累計により完成時の断面力を算出した。

部材製作誤差は、表-2に示す四国地方整備局の土木施工管理基準および道示の規格値に基づき、架設誤差(②+③)=±52.4mmを想定して管理目標値(①+③)=±35.6mmを設定した。上部構造と基礎とが一体化するラーメン構造であることから、各径間の主桁に一箇所ずつ調整ブロックを設け、調整ブロックの添接板を後製作とすることで、上部構造の製作誤差（仮組立時）および基礎の設置誤差に対応した。

設計では、橋脚基部に想定施工誤差を強制変位として考慮した解析を行い、上部構造の断面を決定した。

表-2 設計計算で考慮した施工誤差

項目	段階	許容値 (mm)	最大値 (m)	許容誤差計算値 (mm)	出典	番号
支間長	仮組時	±(10+L/10)	68.5	±16.9	道・四	①
	架設時	±(20+L/5)	68.5	±33.7	道・四	②
柱の傾き	—	1/500	9.357	±18.7	道	③

<道>…道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編より

<四>…四国地方整備局 土木施工管理基準及び規格値(案)より

4.2 橋脚基部の現場継手構造

橋脚基部に、一括移動架設を行う際のジャッキダウン量を小さくし、架設速度および安全性を向上させるため現場継手を設けた。現場継手には、高力ボルト継手と溶接継手があるが、塑性化を考慮する部材に高力ボルト摩擦接合継手を用いた場合の地震時の挙動や耐震性能について既往の知見が少なく、明確な検証方法がない。そこで、動的解析結果より橋脚基部が塑性化する場合は溶接継手、塑性化しない場合は高力ボルト継手を採用する方針とした。動的解析の結果、レベル2地震動を橋軸直角方向に作用させた場合に、一部の橋脚基部で塑性化する結果になり、塑性化しない橋脚も含めすべての橋脚に現場溶接継手を採用した。

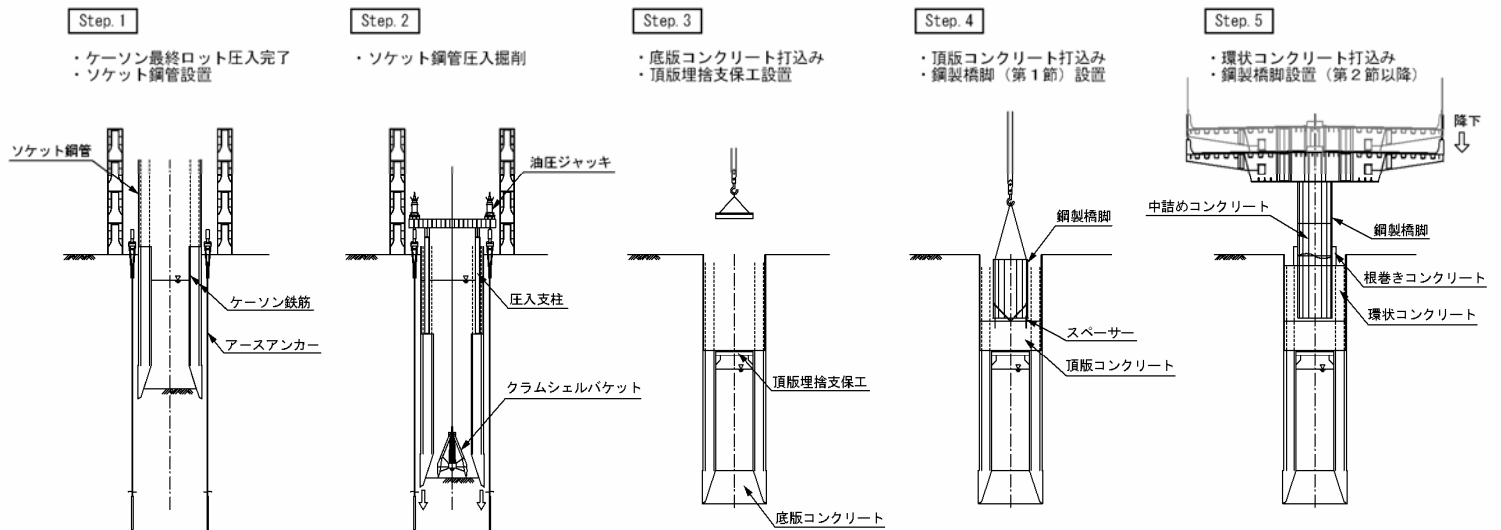


図-7 鋼管ソケット接合の施工要領

5. 現場架設

5.1 基礎の施工

鋼製橋脚が設置されるP6～P12は、基礎を狭小な施工ヤードで施工が可能な圧入式オープンケーソンとした（写真-1）。また、基礎と鋼製橋脚の接合部に鋼管ソケット接合（図-3）を採用した。これらの工法の採用により、低騒音・低振動で基礎の施工が行えたとともに、交差点部における昼間片側4車線確保という施工条件をクリアすることができた。

鋼管ソケット接合の施工要領を図-7に示す。オープンケーソンの最終ロットの上面が地表面から1m程度の高さとなるまで圧入した後、ケーソン付近で地組立し現場溶接を終えたソケット鋼管を、油圧クレーンによりケーソン上に設置する（図-7 (Step-1), 写真-2）。ケーソンとソケット鋼管を一体化させて所定の深さまで圧入掘削する（図-7 (Step-2)）。その後、ケーソンの底版コンクリート、頂版コンクリートを施工し、頂版コンクリート上に鋼製橋脚の基部（第1節）を設置する（図-7 (Step-4), 写真-3）。鋼製橋脚とソケット鋼管の隙間を充填する環状コンクリートの打込みを行い、ケーソン基礎と橋脚とを一体化させた（図-7 (Step-5), 写真-4）。

本橋では、現道交通の確保のため、基礎工の寸法を必要最小限（φ4.0～4.5m）に抑えた。さらに、上部工と基礎工が一体化する構造であることから、オープンケーソンの偏心量（施工誤差）を±25mm以内に収める必要があった。これは、通常のケーソンの規格値（±300mm）の1/10以下という非常に高い精度を要求

するものであったが、日々の入念な精度管理の積み重ねにより、7基全てのケーソン基礎で管理目標値以内での施工を達成することができた。また、全7基のケーソンに対し、4組の圧入・掘削設備を転用しながら施工を行ったが、狭隘なヤード内でソケット鋼管や上部工の地組立作業との干渉といった難題をクリアしながら、着工から完了（最後の基礎の環状コンクリート打込み）まで約3.5ヶ月という短期間で基礎の施工を終えることができた。

5.2 上部工の施工

クイックブリッジ工法では、交差点付近の基礎工を施工中に、その後方の取付け道路部（アプローチ区間など）において上部工の地組立を行う。基礎の施工が完了した後、上部工をドーリーにより交差点上まで一括移動させ、所定の基礎位置に据え付ける。

施工中の現道の交通規制として、以下の条件を満足するように計画した。

- ① 施工中は、上下線各2車線（着工前各3車線）の現道交通を確保
- ② 交差点部は、昼間片側4車線（着工前5車線。右折レーン2車線）、夜間2車線を確保
- ③ 交差点部の夜間全面通行止めは、1夜間のみ
- ④ 鋼床版の張出し部の架設などで、75°俯角に対する離隔が確保できない場合には、夜間に部分的な1車線規制にて作業

上部工の現場施工フローを図-8に、架設要領を図-9にそれぞれ示す。

地組立は、工事占有帯の中での作業可能な橋脚、橋桁および中鋼床版は昼間に油圧トラッククレーンにて架設し（写真-5）、75°俯角に対する離隔が確保できない鋼床版の張出し部は、夜間に部分的な1車線規制を行い架設した（写真-6）。交差点部を含む3径間の鋼桁および鋼製橋脚を、ドーリーによる一括移動で3回に分けて架設した。その後、残りの部分をトラッククレーンベント工法で両側径間に向かって架設し、引き続きA2側のアプローチ部分を施工した。

一括移動架設の最大規模（重量、部材長、移動距離）は、交差点上に橋桁を設置する1回目（P9～P10径間）である。地組立により、舗装工を除くすべての工程（現場溶接、高力ボルト本締め、現場塗装、壁高欄等の付属物の取付けおよび足場の撤去）を終えた橋桁（長さ90m、幅16m、重さ800t）（写真-7）を、1夜間の交通規制の時間内（規制開始22:00～翌朝6:00規制解除）に、ドーリーで交差点上まで約160m移動した。

6軸車と3軸車を連結した計9軸のドーリー（最大積載量3750kN）を4台使用し、前方の2台および後方の2台はそれぞれ通信ケーブルを連結し連動制御を行い、前後のドーリーの走行中の連絡は無線により行った。移動は時速1km程度のゆっくりとした速度で行い、途中段階での調整も含め移動開始から約1時間半で交差点上の所定の位置に到達した（写真-8）。その

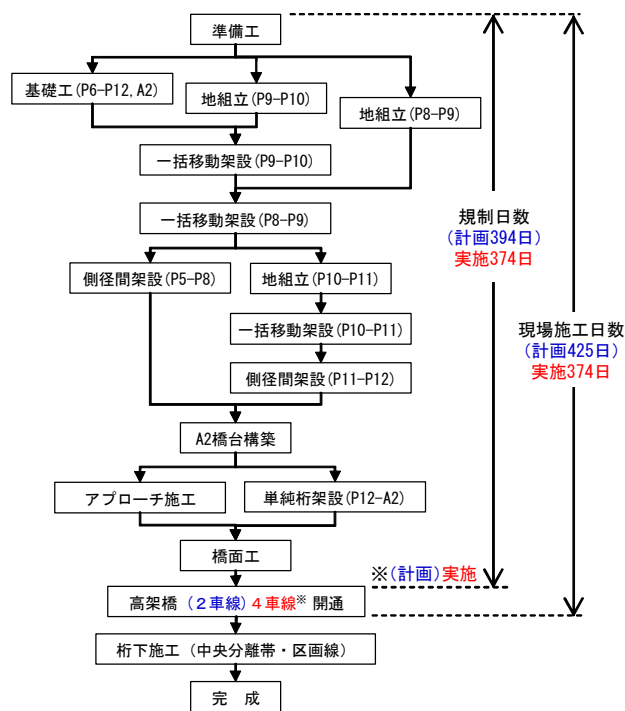


図-8 施工フロー

後、4台のドーリー上にセットされた油圧式ユニットジャッキ（最大ストローク2.2m、昇降能力2500kN）をジャッキダウンすることで橋桁を所定の高さまで降下させ（写真-9）、あらかじめ橋脚の連結位置に設けた調整装置を用いて油圧ジャッキによる最終微調整を行った後、橋脚基部を連結した（写真-10, 11）。

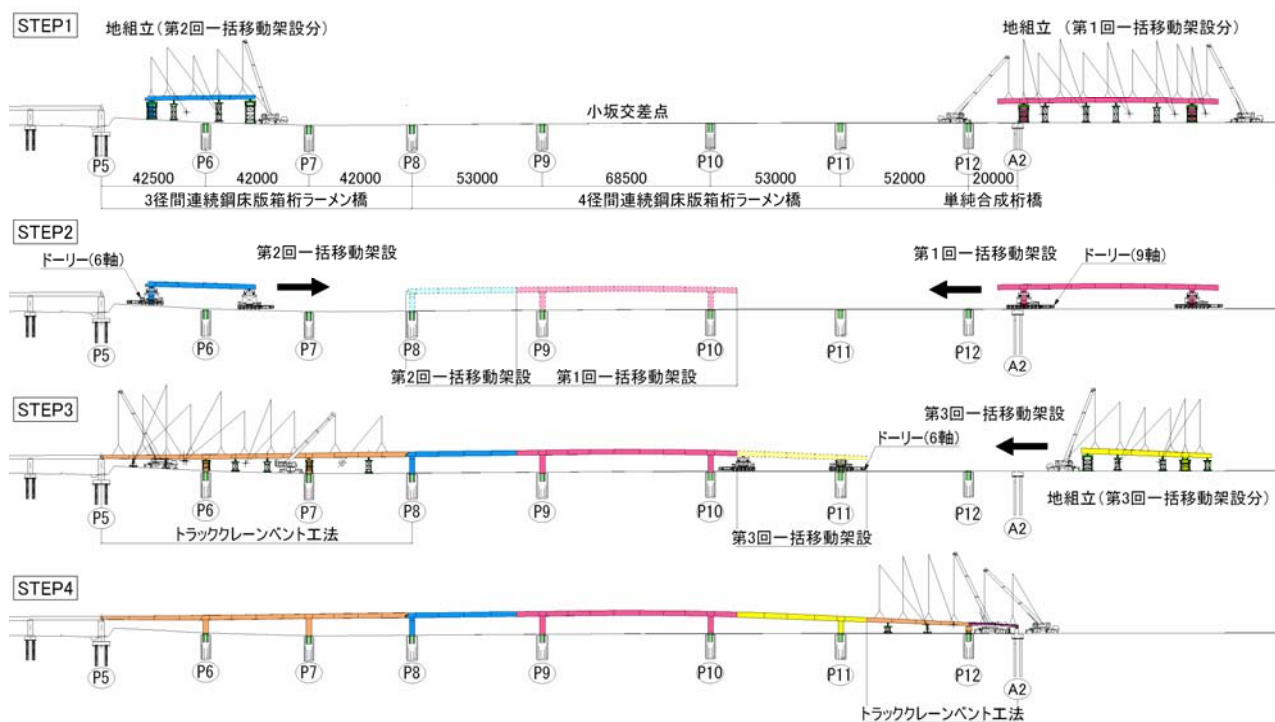


図-9 上部工架設要領



写真-1 オープンケーソンの圧入掘削



写真-2 ソケット鋼管の設置



写真-3 橋脚第1節設置



写真-4 環状コンクリート打込み完了



写真-5 上部工の地組立



写真-6 鋼床版張出し部の夜間架設



写真-7 地組立完了(ドーリーで支持)



写真-8 ドーリーによる一括移動架設



写真-9 ジャッキダウン



写真-10 橋脚基部の連結部



写真-11 一括移動架設直後の小坂交差点



写真-12 EPS軽量盛土の施工

5.3 アプローチ区間の施工

A2 橋台背面および盛土は、EPS ブロックによる軽量盛土を採用した。EPS とは、発砲スチロール (Expanded Polystyrene) 材の略称で、近年、盛土材としての土木構造物への利用が増加している。

EPS 軽量盛土の施工には大型重機を必要としないため、振動・騒音の発生がなく周辺環境への影響もない。さらに、盛土部が軽量化されたことで支持杭や地

盤改良が不要となり、大幅な工期短縮を実現できた。施工状況を写真-12 に示す。

6. おわりに

本橋は、クイックブリッジ工法を採用し、現場交通規制 12.5 ヶ月という短期間で終えた。工事は、大きなトラブルもなく順調に進み、入札時に提案した現場施工日数より約 1.5 ヶ月早く高架橋 4 車線の交通開放す

ることができた。

現在、都市内の慢性的な交通渋滞を解消する方法として、交差点の立体交差化の必要性がクローズアップされている。工事期間中の安全性確保、通行規制日数や現場施工日数の短縮などの厳しい要求条件に対して、本工法はそのニーズに十分応え有効である。

平成 19 年 2 月 4 日に開通し、出勤時の市内方面行き渋滞解消に大いに役立っている。完成した高架橋を、写真-13, 14 に示す。

最後に、設計・製作・施工にあたり、ご指導、ご助言をいただきました国土交通省四国地方整備局、松山河川国道事務所、愛媛大学工学部環境建設工学科、国土技術政策研究所、独立行政法人土木研究所、ならびにJVメイトの株式会社森組など関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 佐々木, 小田 : YS クイックブリッジ工法の開発, 建設機械, Vol.41, No.12, pp.44-47, 2005.12
- 2) 三好, 廣瀬, 尾下 : パワースラブ型合成床版橋 (パワーブリッジ) の試設計, 横河ブリッジグループ技報, No.33, pp.18-27, 2004.1
- 3) (社) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説, 共通編・Ⅱ鋼橋編・Ⅴ耐震設計編, 丸善株式会社, 平成 14 年 3 月
- 4) 運輸省鉄道局監修, 鉄道総合技術研究所編 : 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物, 丸善株式会社, 平成 14 年 12 月
- 5) 高嶋, 増子, 春日井, 佐々木, 鹿浦 : 急速施工への適用を目指した鋼製橋脚と杭基礎との接合構造に関する実験的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.51A, pp.1759-1770, 2005.3
- 6) 高嶋, 蒲原, 佐々木, 小田, 茂木, 梅田 : 孔あき鋼板リブ付き鋼管ソケット接合の力学性状に関する実験的研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.53A, pp.1321-1330, 2007.3



写真-13 完成写真



写真-14 完成航空写真