

喜連瓜破橋大規模更新工事における

PC 箱桁橋撤去技術

阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部改築・更新事業課 渡辺 真介
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部改築・更新事業課 中田 諒
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部改築・更新事業課 森 謙吾

要 旨

14 号松原線喜連瓜破橋の架替え工事は、高速道路一部区間を約 3 年にわたり通行止めにした上で行う一方、架替え橋梁直下の重交通交差点の交通への影響は最小限に留める必要があった。本稿では、このような施工条件・環境特性を踏まえて開発し、現場適用した PC 箱桁橋撤去技術について報告する。

キーワード: リニューアルプロジェクト、ディビダークカンチレバー工法、橋梁架替え、PC 箱桁橋撤去

はじめに

阪神高速 14 号松原線の喜連瓜破橋大規模更新工事の架替え対象橋梁（以下、喜連瓜破橋）は、大阪市平野区の瓜破交差点上に架かる全長約 154 m、幅員 19 m の 3 径間連続有ヒンジラーメン PC 箱桁橋である（写真-1）。本橋は供用からまもなく、中央ヒンジ部の垂れ下がりやウェブの斜めひび割れが顕在化した。垂れ下がりはその後も進行し、これまで舗装オーバーレイによる平坦性確保やケーブル補強による垂れ下がりの回復など種々の対策を講じてきたが抜本的な改善には至らず、長期耐久性の確保、維持管理性の向上のため、2015 年に高速道路リニューアルプロジェクトの一環として新たな連続橋への架替えを決定した。

本稿では、供用から 40 年以上経過したコンクリート橋の架替えにあたり、現場施工条件・環境特性を踏まえ、社会的影響の最小化を目指して開発し、現場適用した PC 箱桁橋の撤去技術につい



写真-1 喜連瓜破橋と周辺状況（2022 年 1 月）
て報告する。

1. 喜連瓜破橋の概要

1-1 喜連瓜破橋の架設（建設時）

1979 年に架設が完了し、1980 年に供用を迎えた喜連瓜破橋の架設工法には張出し工法（ディビダークカンチレバー工法）が採用された。まず、橋脚直上部の PC 箱桁を支保工上で構築し、その橋脚直上部を起点に、移動架設車（ワーゲン）に

よって地上からの支保工を用いることなく南北方向それぞれに均衡を保ちながら、順次 PC 箱桁を張り出し、構築を進めた。交差点を挟んで南北に位置する 2 基の中間橋脚で同様の手順で作業を行った。続いて、南北の隣接橋脚に架かる側径間の両端部約 12 m の区間は固定式支保工架設工法により構築した。最後、南北の中間橋脚からの張出し桁が出会う中央径間の中央にゲレンク脊を設置し、中央ヒンジ部を閉合させている (写真-2)。

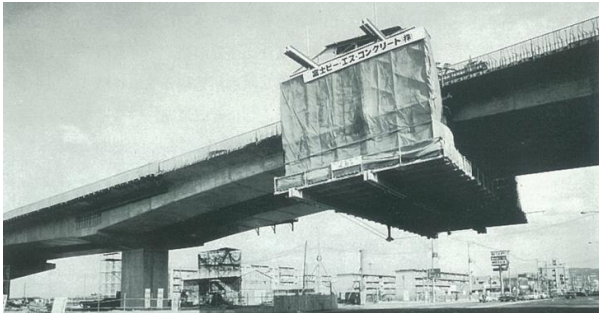


写真-2 建設状況 (中央ヒンジ部施工中)

1-2 中央ヒンジ部の垂れ下がり

喜連瓜破橋は供用から 5 年経過した 1985 年頃に中央ヒンジ部両側の張出し桁のたわみによる中央ヒンジ部の垂れ下がりが顕著になり、その後の進行により垂れ下がり量は最大で 24 cm を超えた (写真-3)。当時、張出し桁のたわみの原因については、コンクリートのクリープ及びアルカリ骨材反応の影響などによる複合的な要因によるものと推察されたが、未だ究明には至っていない。

応急的な対策として二度にわたる舗装オーバーレイにより平坦性の確保に努めたが、これ以上のオーバーレイは死荷重増加によるさらなる垂れ下がり進行の要因となることが懸念された。

なお、垂れ下がりと同様に顕在化していた中央ヒンジ部近傍ウェブの斜めひび割れについては、1993 年に樹脂注入補修と鋼板接着による補強を実施している¹⁾。

1-3 下弦ケーブル補強

2003 年には垂れ下がりの進行抑制と垂れ下がり量の回復を目的に、ケーブルを用いた大規模な補強工事を行った²⁾。中央ヒンジ部を跨ぐ形で

両側の張出し桁先端部直下に鋼製のストラット部材を設け、2 基の中間橋脚間に偏心配置した下弦ケーブルに水平方向の緊張力を導入し、ストラット部材を介して上向きの力に変える仕組みである (写真-4)。これによりヒンジ部の垂れ下がり量は約 4 cm 回復し、さらなる進行も抑制している。



写真-3 橋面上のヒンジ部垂れ下がり状況



写真-4 下弦ケーブルとストラット

1-4 コンクリートの物性値調査

2016 年から 2018 年にかけて、喜連瓜破橋のコンクリート物性値調査を実施している⁴⁾。箱桁の各部位から採取したコンクリートコアの試験値 (3 本平均値) を図-1 に示す。圧縮強度はほとんどが建設当時のコンクリートの設計基準強度 39.2 N/mm² を下回り、半数以上が設計基準強度の 60 ~ 80% 程度に留まっている。静弾性係数も一般的に標準値の 70% 程度と低い値であり、コンクリート強度の低下に懸念がある状態であった。

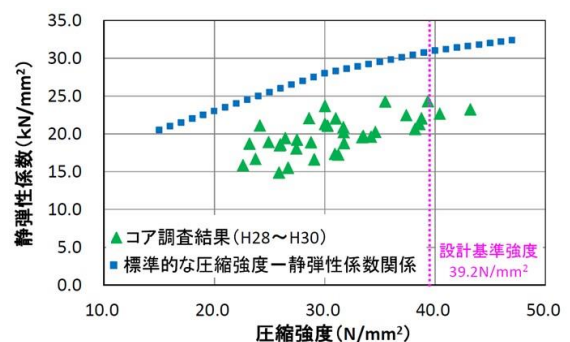


図-1 圧縮強度と静弾性係数の比較

2. 更新計画

2015年1月に阪神高速道路が公表した「阪神高速道路の更新計画」において、喜連瓜破橋は、3号神戸線京橋付近の橋梁と同じく、損傷状況や過去の補修履歴から、大規模更新事業のうち橋梁全体の架替えが必要な箇所を選定された。

いずれも支間中央ヒンジ部で垂れ下がりが発生しているPC箱桁橋であり、鋼製の連続橋へ架替える計画であった。この計画では、架替え工事中の交通処理の例として、撤去対象橋梁付近に設ける迂回路によって高速道路の機能を維持させ、交通影響を軽減させる方法が示された。

3. 施工方法の検討

3-1 現場施工条件・環境特性

喜連瓜破橋が架かる瓜破交差点は国道や主要地方道が結節し、約6.3万台/日⁵⁾の交通量を有する重交通交差点である。また、周辺には地下鉄喜連瓜破駅、商業施設、公共施設の他、高層マンションを含む住宅が隣接しており、自動車以外にも歩行者・自転車の往来が非常に多いことが特徴の都市部の交差点である（写真-1）。

そのため、この交差点における交通規制の実施に伴う交通影響の大きさを鑑み、交通管理者との協議では、交通規制の実施は夜間帯（22時～翌6時）に限定され、この条件を踏まえた施工方法・施工計画を検討することとなった。

3-2 施工方法の比較

施工方法を検討するにあたり、交差点の状況を踏まえ、更新計画で示された①迂回路案の他、複数案を比較した。

以下、比較した複数案のうち表-1で示す3案についてそれぞれの施工方法の概要を示す。

①迂回路案は高速道路の機能を維持したまま、架替えを行うものである。喜連瓜破橋付近に迂回路を設置するため、交差点付近で迂回路設置のための常時交通規制の実施は避けられず、交通や生活環境への多大なる影響の発生が懸念された。さらに、その後に橋梁架替えに着手するため、施工期間も延べ10年以上に及ぶなど実現に向けては調整課題の非常に多い施工方法である。

②半断面施工案は高速道路の機能を半分維持したまま架替えを行うものであるが、半断面状態の橋梁を支えるための仮橋脚を設置した上で、上下線半断面ずつ架替えていくため、①と同様に施工が長期化する上、交通容量が半減することで慢性的な渋滞発生も懸念されるなど、こちらも①と同様、調整課題の非常に多い施工方法である。

③通行止め案は架替え対象橋梁を含む高速道路の一部区間を通行止めにして、上下線一括で架替えを行うことで施工期間を①、②よりも大幅に短縮させる施工方法である。工期短縮が可能となる一方、14号松原線の当該区間を利用される約7.5万台/日⁵⁾の交通が一般道路や周辺高速道路へ転換することになるため、瓜破交差点付近に留まらず、広域的に交通影響が及ぶことが懸念される。

表-1 架替え施工方法の比較

案	① 迂回路案	② 半断面施工案	③ 通行止め案
概略図			
架替え期間	3年	7年	2.8年
付帯工期間	7.5年(迂回路の設置・撤去)	2年(仮設支持橋脚の設置・撤去)	-
合計期間	10.5年	9年	2.8年

3-3 実施検討会

「阪神高速 14 号松原線大規模更新工事（喜連瓜破付近橋梁架替え工事）実施検討会」は架替え工事実施に伴う周辺への影響を最小限に留める施工方法と、それに伴う交通規制手法について意見交換、調整を図る場として 2021 年 4 月設立された。2020 年 3 月には 6 号大和川線が全線開通し、14 号松原線に対するう回ネットワークが整備されており、交通規制手法については複数の案が考えられる状況にあった。

以降、学識経験者や関係地方自治体で構成される検討会メンバーと討議を重ね、2021 年 11 月、最終的な取りまとめにおいて、社会的影響を抑制する観点から「交通影響対策を講じて、通行止め案で工事を行うこと」の妥当性が整理された。これを機に、高速道路の通行止めを前提とした施工方法の具体的検討を本格的に開始した。

4. 架替え工事の概要

都市部の重交通交差点直上における大規模な PC 箱桁橋撤去と新たな鋼橋の架設にあたり、社会的影響の最小化を目指して検討した喜連瓜破橋架替えの施工方法の概要を以下に述べる。

4-1 PC 箱桁橋撤去の工事手順

まず、PC 箱桁橋を撤去するための鋼製の工事桁（以下、仮設桁）を喜連瓜破橋自身の桁上に設置する。続いて、この仮設桁に移動作業車や運搬台車などの付属設備を取り付ける。PC 箱桁橋の切断は移動作業車の中で行い、切断したコンクリートブロック（以下、Co 塊）は運搬台車に載せて仮設桁の南北両端まで運搬していく。最後は隣

接橋面上にて運搬台車からトラックへ Co 塊をクレーンで積み替え、搬出していく。

切断、運搬は仮設桁に取り付く移動作業車や運搬台車を利用し、搬出も高速道路経由で行うことで、PC 箱桁橋撤去に係る一連の作業は仮設桁と隣接橋面上で完結させることが可能となり、交差点への交通影響を最小限に抑える施工方法としている（図-2）。

4-2 新たな鋼橋架設の工事手順

PC 箱桁橋撤去の後は鋼橋の架設に着手する。鋼橋は 2 基の鋼製梁と 3 分割された鋼製桁で構成される。まず、瓜破交差点南東角の工事ヤード（大阪市用地約 2,200 m² を使用）にて組立てる 2 基の鋼製梁を多軸台車により運搬し、クレーン架設によって 2 基の中間橋脚上に設置する。次に、南北それぞれの隣接橋面上で組立てる鋼製桁の側径間は、鋼製梁の架設完了後、中央径間側に向かって送り出し、多軸台車に支持を受け替えて一括架設する。最後、鋼製桁の中央径間を工事ヤードにて組立てて、多軸台車により交差点の中心部まで運搬し、先に架設した両方の側径間に取り付ける吊り上げ設備を用いて一括架設する。

新たな鋼橋の架設は、瓜破交差点において大規模な通行止め規制を実施した中で、4 回の夜間工事で行う。

4-3 架替え工事の期間

前記の撤去工事は約 1 年 10 ヶ月、鋼橋架設や橋面での工事を含む新設工事は約 1 年 4 ヶ月で、両工事の重複期間を 4 ヶ月として、高速道路の一部区間を通行止めにして行う工事期間は延べ約 2 年 10 ヶ月を予定している。

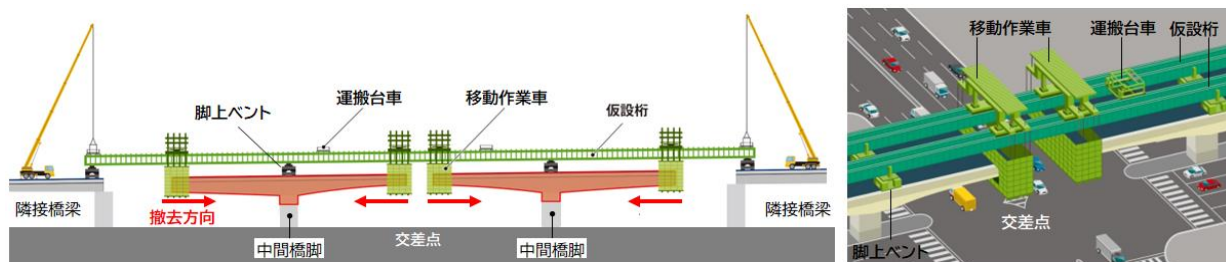


図-2 PC 箱桁橋撤去の概要

5. PC 箱桁橋の撤去

重交通交差点直上の PC 箱桁橋の撤去は全国的に見てもこれまでに前例がない。さらに、設計基準強度を満足しないコンクリートの存在や、度重なる補修・補強履歴を有する複雑な PC 箱桁橋の撤去を安全に行うにあたっては様々な検討が必要であった。ここでは、施工が完了した PC 箱桁橋撤去の主たる施工内容について詳細に報告していく。

5-1 準備工、高速道路の通行止め

2022年6月1日に喜連瓜破橋を含む高速道路約2kmの区間の通行止めを開始した。以降は喜連瓜破橋の橋面上は仮設桁の設置に備え、死荷重の軽減と施工ヤード確保のため、舗装や中央分離帯といった橋面上の構造物の撤去を進めた。遮音壁や橋面以外に取り付く排水管や検査路といった橋梁付属物は移動作業車の設置後、路下の規制を行わずに撤去した。

瓜破交差点周辺の標識や信号機など、撤去工事の支障となる物件類の移設は高速道路の通行止め開始までに完了させている。

5-2 仮設桁の設置

仮設桁は今回の PC 箱桁橋の撤去における重要部材である。4 主箱桁形状の鋼製橋は全長 165 m、幅員約 16 m、総重量は約 1,400 t を超える。

PC 箱桁橋撤去の進捗により、撤去される喜連瓜破橋に代わり、仮設桁が架かる状況が生じる。そのため、仮設桁には直下交差点への落下物対策はもちろんのこと、漏水対策まで行った。隣接主桁を繋ぐ歩廊部に防水層を設け、排水箇所は端部橋脚まで樋を延ばし、防錆対策としてジンクリッチペイントを施している。

(1) クレーン架設

仮設桁は 1 主桁あたり橋軸方向に 15 ブロックに分割したものを橋面上で組立てた。120 t クローラークレーン（以下、CC）2 台により、最初に中央ヒンジ部の直上に 1 ブロック目を設置し、以

降はボルト接合により南北両側に延伸させていった。この際、120 tCC のクローラー走行ラインは喜連瓜破橋の PC 箱桁のウェブライン上とし、載荷位置を限定した。また、南端の 2 ブロックの設置の際は、南側隣接桁の耐力不足によって 120 tCC を載荷させることができないため、多軸台車を用いて設置した。さらに、橋面上での 120 tCC の組立ての際は橋脚部直上付近で 70 t ラフテレーンクレーン（以下、RC）を使用するなど、既設構造物の耐久性に留意した上で慎重に仮設桁を組み立てた（写真-5）。

(2) 耐震性

仮設桁を使用して PC 箱桁を撤去する際、仮設桁の自重に加え、仮設桁に取り付く付属設備や撤去する Co 塊の重量が耐震性に大きな影響を与える。そこで、PC 箱桁橋撤去時の耐震性能を動的解析によって照査（L1, L2 地震動）し、結果に基づき、既設橋脚の負担軽減のため、仮設桁を支持する脚上ベントに免震ゴム支承（高性能型高減衰ゴム支承）を設置した（写真-6）。

脚上ベントは既設 4 橋脚直上の橋面に設置した鋼製架台である。仮設桁の設置後、鋼製架台に免震ゴム支承を設置し、支持を受け替えた。1 橋脚につき 1 支承線上に 6 基ずつ配置した。



写真-5 仮設桁のクレーン架設



写真-6 脚上ベント(左)と免震支承(右)

5-3 付属設備の設置

仮設桁に取り付く付属設備を図-3 に示す。仮設桁の設置に併せて組立て・取り付けを行った。

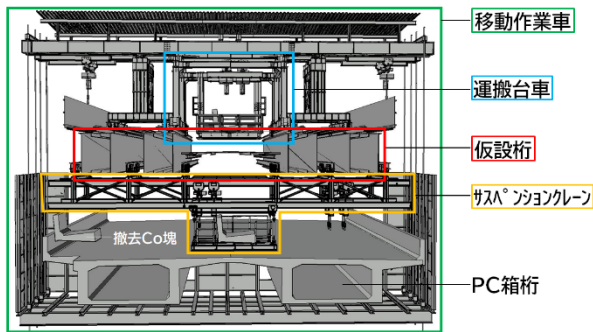


図-3 仮設桁と各付属設備（断面図）

(1) 移動作業車

移動作業車（写真-7）はPC箱桁橋の切断を行う作業足場であり、撤去の進捗に併せて橋軸方向に移動する。中間橋脚から張出した桁の先端部から橋脚方向に向かって撤去を進めるため、南北の中間橋脚に対して2台ずつ合計4台設置した。仮設桁上を移動する上部台車部分は隣接桁上にて組立てて、70tRCにて仮設桁上面の軌条に載せている。工事ヤードにて組立てた下部の作業足場部分は、交差点の夜間規制を行い、電動チェーンで吊り上げて上部台車部分とPC鋼棒で連結させた。



写真-7 移動作業車

(2) サスペンションクレーン

サスペンションクレーン（写真-8）は移動作業車内で行う切断作業において、吊切りを行うためのクレーン設備である。吊切りにより切断したCo塊は、運搬台車へ中継するため、中央部のステージまで移動させ荷置きを行う。移動作業車と連携して動くため、移動作業車と同じく4台設置した。橋面上で組立てて、仮設桁側方の吊軌条から懸垂させている。



写真-8 サスペンションクレーン

(3) 運搬台車

運搬台車（写真-9）はサスペンションクレーンで荷置きされたCo塊を仮設桁上に揚重し、仮設桁端部まで運搬する。南側と北側に1台ずつ合計2台配置した。橋面上で組立てて、移動作業車同様、仮設桁上面の軌条に載せている。



写真-9 運搬台車（Co塊の揚重中）

5-4 PC箱桁橋・桁部の撤去

(1) 撤去概要

本工事のPC箱桁橋の撤去総重量は約6,500tであった。このうち中間橋脚部以外の桁部約5,000tは仮設桁を利用して撤去を行った。4台の移動作業車の中でコア削孔とワイヤーソー切断によりPC箱桁を運搬可能な大きさに切断し、運搬、搬出を繰り返した。橋軸方向に1.75m間隔で計84断面、1断面あたり最大16分割（図-4）とした約4t/個のCo塊は合計約1,300個に上った。

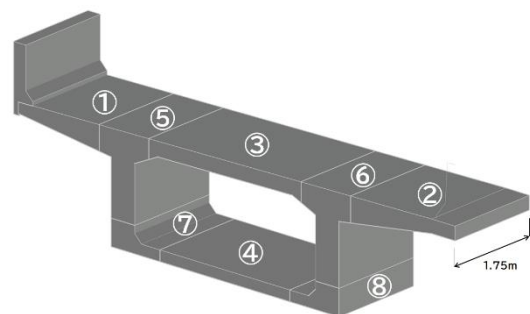


図-4 PC箱桁切断の分割割付（半断面）

移動作業車の全周は防音シートで囲い、各台車やレーンの稼働には商用電源を使用するなど騒音に配慮した上で撤去作業を進めた。

ただ、交通管理者との協議により、移動作業車を移動させる場合は直下の交通を止めることが条件となったため、撤去は昼夜作業で行う一方、1断面切断ごと生じる移動作業車 1.75 m の移動は頭抑え規制を伴うため、夜間作業にて行った。

ピーク時には昼夜作業で最大 20 個/日のペースで Co 塊を搬出し、約 4 ヶ月半のうちに約 5,000 t のコンクリート構造物の撤去を完了させた。

(2) 撤去手順

仮設桁を用いた PC 箱桁橋の撤去手順は図-5 に示すとおり。まず、側径間部の隣接橋脚側で初期切断を行い、中央ヒンジまでの中央径間の張出し長さと同程度になるまで撤去を進めた (Step1)。続いて、ゲレンク杓や水平ゴム支承を含む中央ヒンジ部を撤去した (Step2)。その後、建設時の架設とは逆方向に、両側の張出し長を均衡させながら張出し側から中間橋脚に向かって撤去を進めた (Step3)。

(3) 端部切断時の桁の挙動対応

撤去手順における Step1 の初期切断時は、切断

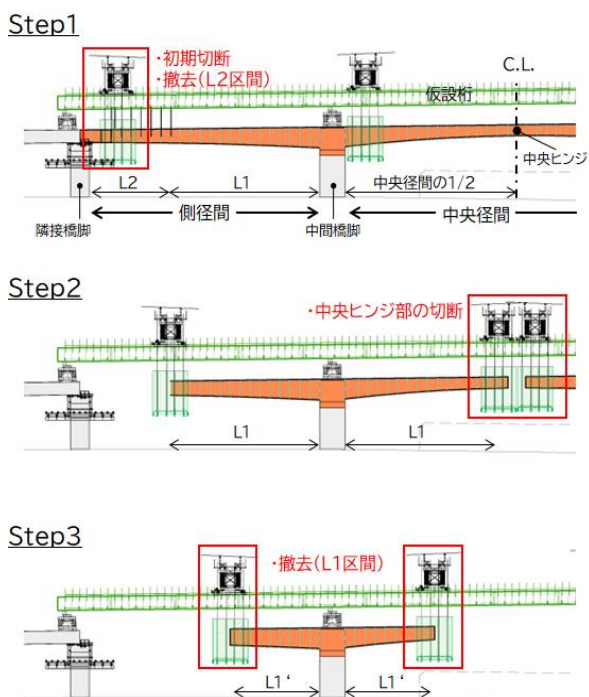


図-5 仮設桁を用いた PC 箱桁橋の撤去手順

に伴う片持ち構造への変化による橋桁の衝撃的な挙動の発生を防ぐため、切断ライン両側をセッティングビームで固定し、切断時の発生変位を抑制している。切断後は、セッティングビームの張力を油圧ジャッキで徐々に解放し、仮設桁からの仮吊り鋼棒で中間橋脚側の桁を受替えた。Step1 では初期切断後も仮吊り鋼棒を盛替え、桁を仮吊りしながら撤去を進めた (図-6)。

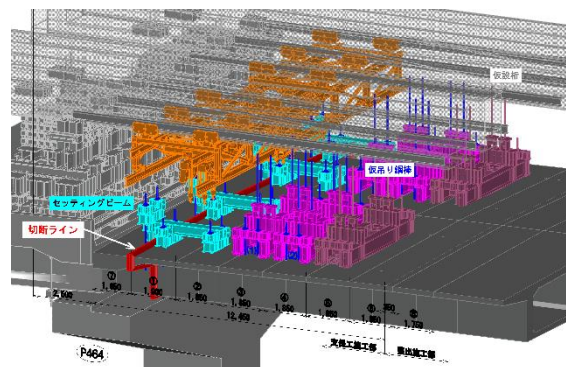


図-6 初期切断時の挙動対応

Step2 のヒンジ部切断においては、PC 箱桁に残存する PC 鋼棒による張力によって切断に伴う張出し桁の跳ね上がりが懸念された。そのため、中央ヒンジ部の切断面外側の仮設桁と張出し桁の間に反力用支保工を組立てて、油圧ジャッキで一定の反力を導入しながら切断した (図-7)。

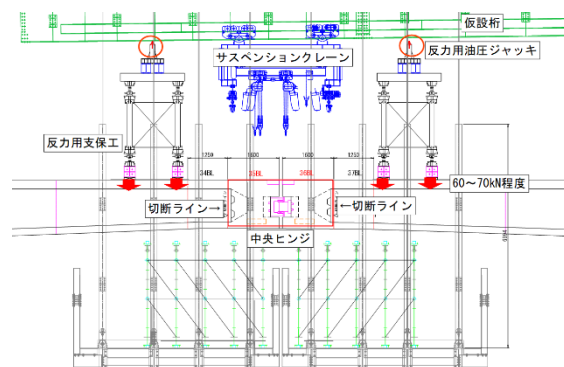


図-7 中央ヒンジ部切断時の挙動対応

(4) 切断時照査

建設時は PC 鋼棒の配置と緊張を繰り返しながら中間橋脚から桁を張出していったが、撤去においては張出し先端側から Co 塊を撤去していくこととなるため、全ての PC 鋼棒が緊張状態で配置されたままとなる。これにより、張出し側の主桁下縁の PC 鋼棒や、中間橋脚側の主桁上縁の PC

鋼棒が残ったままの状態となり、撤去を進める過程において局所的な応力超過が発生する可能性があった。そこで、1.75 m 切断ごとのステップで逐次応力照査を実施し、構造安全性を確認した。

(5) PC 鋼棒の切断

照査の結果、上縁部は引張鉄筋によって安全性は確保されているが、中間橋脚側の下縁部は PC 鋼棒の緊張力残置の影響のため撤去が進むにつれて引張応力が卓越することが判明した。そのため、桁の撤去と併せて、桁上面側からコア削孔により PC 鋼棒を切断し、緊張力を解放しながら作業を進めた。PC 鋼棒切断のための削孔の深さは最大で 27 cm、削孔径は $\phi 54$ cm。1 つの削孔で鉛直方向に 1~3 段の PC 鋼棒を切断した (図-8)。1 断面あたり橋軸直角方向に 24 本近くの削孔により線状に形成される削孔跡は断面欠損箇所となるため、削孔後は速やかに無収縮モルタルにて充填した。

5-5 下弦ケーブルの撤去

中央ヒンジ部の垂れ下がり対策のために設置した下弦ケーブルとストラット部材は、PC 箱桁橋撤去を進めるにあたって支障となるため、あらかじめ撤去する必要があった。

(1) 緊張力解放

下弦ケーブル撤去に先立ち、仮設桁設置前に、緊張力解放を行った。4 本の下弦ケーブルにかかる 3,300 kN/本の緊張力を、下弦ケーブルが垂れ下らない程度の 300 kN/本まで解放した。

4 本の下弦ケーブルの内、2 本を 1 組としてケーブルの両端定着部に緊張ジャッキ解放装置を取り付け、両端にて圧力差が生じないように同時に緊張ポンプのメーター示度で 1 MPa ずつ、最終 5 MPa まで解放した。緊張力の解放中及び解放後は、ケーブルを機械的に固定するケーブルバンドを設置し、箱桁本体とワイヤーで緊結し、交差点上に垂れ下らない処置を行った。

(2) 下弦ケーブルの撤去

先行的に緊張力解放し、下弦ケーブルの撤去は仮設桁設置後に行った。4 本の下弦ケーブルは 1

本当たり長さ約 70 m、重さ約 1.5 t のアンボンドマルチケーブル。このケーブルを移動作業車と交差点上の高所作業車で支えながらウインチワイヤーで 4 本同時に南側橋面上に引き抜いた。交差点内での作業となるため、交差点の東西方向を夜間通行止めにして実施した。合計約 4 t の 2 基の鋼製ストラットはケーブル引き抜き後、連結させた 2 台の移動作業車内で切断し、撤去した (写真-10)。

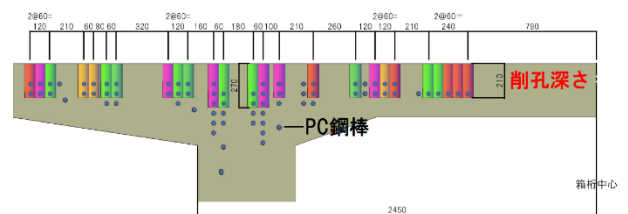


図-8 PC 鋼棒切断のための削孔

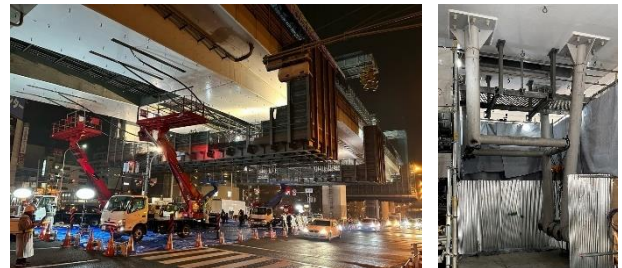


写真-10 下弦ケーブルとストラットの撤去状況

5-6 仮設桁引き戻し

PC 箱桁橋・桁部の撤去完了後、その役目を終えた仮設桁の撤去に取り掛かった。

まず、付属設備を取り除き、仮設桁の南端部に約 50 m の手延べ桁を連結させた。北端部には牽引のため油圧ジャッキを取り付けた桁を接続した。仮設桁の支点部は最大 32 台 (4 支点×8 台/支点) のエンドレスローラーにて受け、最大約 1,300 t の仮設桁を 40~50 t のジャッキ計 8 台で北側橋面上へ引き戻した (写真-11, 12)。北側橋面上のスペースに限りがあるため、手延べ桁を含めて長さ約 220 m となった仮設桁の引き戻しを 4 回の工程に分け、延べ 13 夜間で行った。瓜破交差点直上で仮設桁の移動が伴うため、基本的に交差点の東西方向を夜間通行止めにして実施した。

5-7 PC 箱桁橋・中間橋脚部の撤去

建設時、最初に構築した中間橋脚部は仮設桁を



写真-11 交差点上で張出し状態の手延べ桁



写真-12 エンドレスローラー（左）
牽引用の油圧ジャッキ（右）

支える脚上ベント位置となっていたため、仮設桁撤去後、仮設桁を使用しない方法で最後に撤去を行った。中間橋脚は、柱部は流用し、頭部のみが撤去対象であり、撤去数量は1基あたり約765t、2基合計で約1,500tになる。

(1) 撤去概要

桁部と同じく中間橋脚頭部もコア削孔とワイヤーソー切断により Co 塊状にしたものを搬出した。Co 塊は約7t/個で延べ224個であった。切断作業は橋脚部に設けた作業床上で、移動作業車同様、全周に防音シートを設置して昼夜作業で行った。100tRCによるCo塊の搬出作業は交差点周辺道路の車線規制を伴うため、夜間作業とした。平均4個/日のペースでCo塊を搬出し、約2ヵ月半で約1,500tのコンクリート構造物撤去を完了させた。

(2) 撤去手順

中間橋脚は橋軸直角方向に張出した梁形状となっており、上方には横締めPC鋼棒が配置されている。上方から撤去を進めるにつれてPC鋼棒とともに緊張力も除去されるため、張出し部の重量をジャッキで支保しながら撤去を行う必要がある、中間橋脚防護足場を設けた。張出し部の支保工と撤去用足場を設置するための作業床は中間橋脚頭部から吊鋼材により吊り上げた(図-9)。

橋脚部を中心に左右同時に張出し部の撤去を進

め、張出し部の切断手順を工夫することで支保工にかかる張出し部の重量を抑えた(図-10)。張出し部の撤去完了後、中間橋脚頭部の吊鋼材を撤去し、橋脚部の撤去を行った。

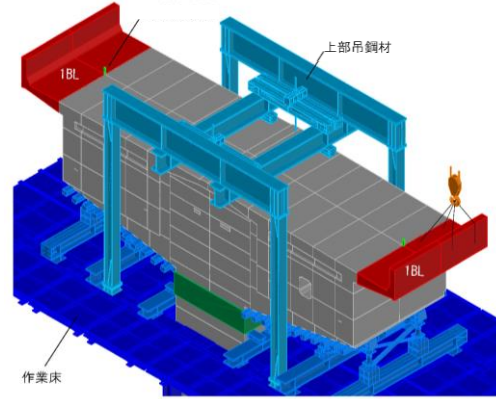


図-9 中間橋脚防護足場と上部吊鋼材

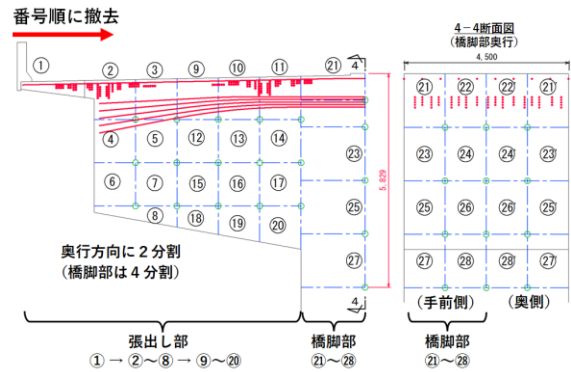


図-10 切断順序と分割割付（片側・半断面）

(3) 鋼板巻き立て補強部の撤去

中間橋脚頭部の最終切断位置は鋼板巻き立て補強部であった。橋脚に巻き立てられた $t = 12 \text{ mm}$ の補強鋼板をウォールソーにより切断し、以降は(1)と同じ要領で撤去している。また、中間橋脚は新設する鋼製梁と流用する柱部をコンクリートで一体化させるため、中間橋脚の最終切断面はウォータージェットにより中間橋脚主鉄筋のはつり出しと表面処理を行った。

5-8 PC箱桁橋撤去の工程

中間橋脚部の撤去完了によりPC箱桁橋約6,600tが姿を消した(写真-13)。撤去に係る工程実績を表-2に示す。順調に進捗し、予定どおり通行止め開始から約1年10ヵ月で完了を迎えた。

5-9 DX 活用による施工時の工夫

供用から 40 年以上経過し、複雑な補修履歴を有する PC 箱桁橋の撤去にあたり、構造物の崩壊・倒壊という重大なトラブルを起こさないよう慎重に工事を進める必要があった。

そのため、施工に伴って生じる変位の予測解析値と実挙動に大きな差異がないかを逐一確認しながら施工を進めた。また、これまでに前例のない特殊な大規模工事であり、得られるデータから正確に現状を把握し、速やかに分析して判断することが重要であるため「現場状況の可視化」、「データの蓄積と活用」、「デジタルを活用した業務効率化」を主眼に、現場管理システムの構築を行った。

(1) 計測・モニタリングシステムの適用

撤去に際し、PC 箱桁橋の三次元変位、ひずみ、橋脚の傾斜変位及び沈下量を計測した。変位計測機器配置を図-11 に示す。計測における管理値は、撤去開始前に行った既設橋梁調査結果を反映して解析したステップ毎の予測値を基に、許容応力度や降伏点・構造物の崩壊の恐れがある限界値の 80% から設定した。計測値は管理値とともに橋梁モニタリングシステム (図-12) に反映され、常時確認できるようにした。

図-13 は計測結果の一例で、工事着手時点から仮設桁設置完了までの中央ヒンジ部の沈下量 (解析値と実績値の比較) の推移である。工事着手後、舗装と中央分離帯撤去 (②, ③) により死荷重が



写真-13 撤去完了後の瓜破交差点

表-2 PC 箱桁橋撤去に係る工程実績

年月	2022年												2023												2024		
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3					
延べ月数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22					
橋面構造物、橋梁付属物の撤去	[スケジュール表示]																										
仮設桁、付属設備の設置・撤去	設置												撤去														
PC箱桁橋の撤去													桁部						中間橋脚部								

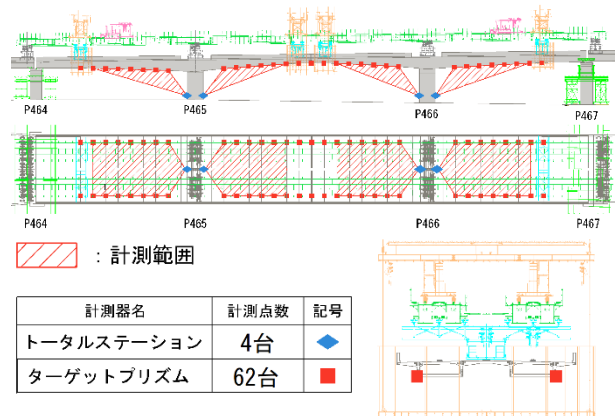
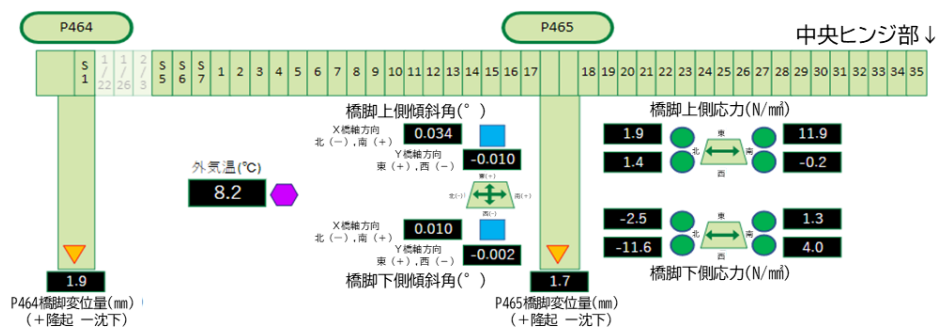


図-11 変位計測器配置図

軽減され、沈下量は回復したが、外ケーブル緊張力解放 (④) によって工事着手後 (①) よりも沈

《撤去桁計測 縦断面図》

- 凡例
- 外気温度計 (°C)
- ▼ 橋脚変位量 (mm)
- 橋脚応力値 (N/mm²)
- 橋脚傾斜角 (°)



《撤去桁変位計測 平面図》

- 凡例
- 撤去桁変位量 (mm)
- ◆ 桁下側
- ▲ 高欄天端側

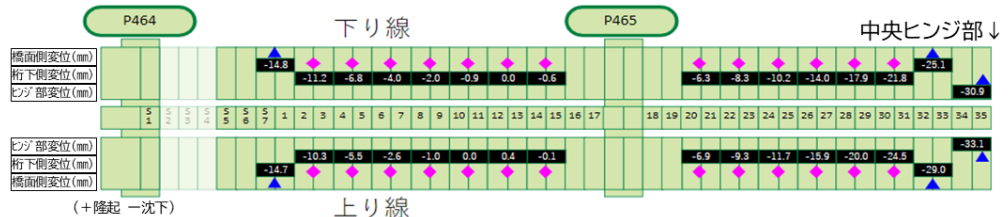
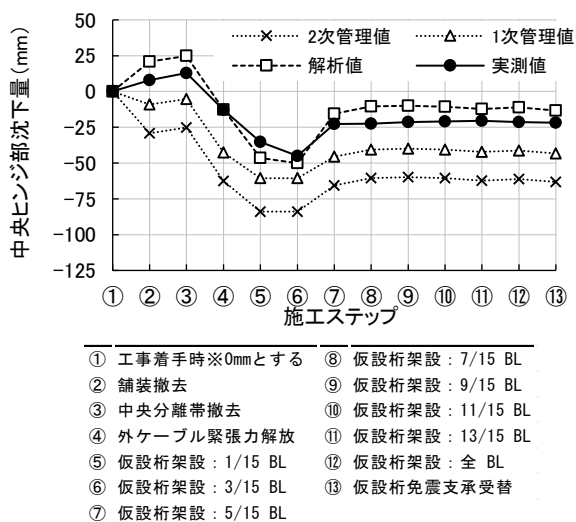


図-12 橋梁モニタリングシステムの一例

下量は大きくなった。さらに、中央ヒンジ部直上の仮設桁設置（⑤、⑥）では支間中央部に荷重が集中したため沈下量は増大した。その後の仮設桁設置（⑦～⑬）では仮設桁を仮受ベントから脚上ベントに受け替えており、沈下量は収束した。実測値は解析値と同様の傾向を示し、管理値内に収まった。



- | | |
|-----------------|------------------|
| ① 工事着手時※0mmとする | ⑧ 仮設桁架設：7/15 BL |
| ② 舗装撤去 | ⑨ 仮設桁架設：9/15 BL |
| ③ 中央分離帯撤去 | ⑩ 仮設桁架設：11/15 BL |
| ④ 外ケーブル緊張力解放 | ⑪ 仮設桁架設：13/15 BL |
| ⑤ 仮設桁架設：1/15 BL | ⑫ 仮設桁架設：全 BL |
| ⑥ 仮設桁架設：3/15 BL | ⑬ 仮設桁架設：全 BL |
| ⑦ 仮設桁架設：5/15 BL | |

図-13 中央ヒンジ部の沈下量の推移

(2) デジタルツイン技術の適用

施工前や施工中に得られる様々な情報をデジタルデータ化し、仮想空間上に集積・統合してデジタルツイン化した。さらに、各種センサを組み合わせることで、作業員の位置情報や入退場状況を把握し、撤去設備の稼働管理、切断作業に係る出面管理や進捗管理がクラウド上で常に把握できるため、計測情報と同時に現場状況の分析も迅速に行うことを可能とした。

(3) ウェブカメラシステムの活用

現場状況を常時把握できるよう、固定式・移動式カメラを施工箇所内に複数設置した。多数の関係者が一度に情報を共有できることから遠隔での作業指揮、指導を可能とした。また、多岐にわたる専門業者の複数の作業員が本工事に携わったが、ウェブカメラ映像とデジタルツイン技術を併用し、実際の施工状況とデータとして得られる施工実態を比較することで、離れた2台の作業台車内で均衡を保ちながら行う必要のある撤去作業の平準化が可能となり、安全で効率的に工事を進めること

ができた。

6. 工事情報の発信

約3年という長期にわたる高速道路通行止めを伴う工事において、お客さまや地元の方々のご理解、ご協力は不可欠である。また、都市部の交差点直上での橋梁架替え工事では、地元を含め、多くの方々が橋の撤去から、新しい橋の架設までを日々目の当たりにすることとなる。このため、工事を円滑に進めるためにも、積極的に工事の情報を提供し、地元との対話のきっかけを作ることが大切であり、情報発信にも特に注力した。

6-1 喜連瓜破大規模更新工事情報館

工事ヤード内の一角に設けた情報館（写真-14）では、架替え工事の内容を地元の方を含め多くの方々に発信する場として開設し、週1回の開館日を設けた。また、PC箱桁撤去橋の切断作業は騒音対策を施した上、延べ約7ヵ月間の長期にわたって昼夜作業で行ったが、作業実施に先立ち、情報館にてイベントを開催した。近隣住民の方々に工事への理解を深めていただくとともに、ワイヤーソーによる切断作業の作業環境を再現し、ワイヤーソーの仕組みや作業に伴う作業音の影響を直接確認いただいた。



写真-14 情報館と工事ヤード

6-2 現場見学会

阪神高速道路で初めての橋梁架替え事業となる本工事は、現場条件や施工規模、そして前例のない新たな施工方法によって社内はもちろん、社外の関心度も非常に高い。道路会社、地方自治体や

大学の関係者，さらには沿道にお住まいの方や近隣小学校の児童など，これまでに延べ約 1,300 名以上の現場見学に対応している（2024 年 3 月末現在）。

7. まとめ

これまで度重なる補修・補強を行ってきた複雑な補修履歴を有する PC 箱桁橋の撤去を，交差点直上で行うという非常に難易度の高い工事であったが，綿密な施工計画を立て，施工上の安全にも徹底した配慮を行い，トラブルによる遅延もなく，無事に完了させることができた。

また，仮設桁を用いる施工方法としたことで，撤去作業のほとんどを交差点上空で完結させ，瓜破交差点における規制も夜間帯のみで，必要最小限の通行止めや車線規制の実施に留めている。

本工事特有の施工条件・環境特性に応じて検討し，開発された PC 箱桁橋撤去技術は，社会的影響最小化という条件を十分に満たし，重交通交差点直上における大規模なコンクリート撤去工事を予定どおりの期間で完了させることができた。

おわりに

PC 箱桁橋の撤去完了とともに新たな鋼橋の架設が本格化していく。無事に最初の橋梁架替え事業の完了を迎えられるよう，また，一日も早い完成・供用再開を目指し，引き続き社会的影響最小化を念頭に，安全に工事を進めていきます。

謝辞：本稿執筆にあたり，喜連瓜破大規模更新工事の PC 箱桁橋撤去に多大な貢献をいただいた大成建設株式会社並びに株式会社富士ピー・エスの関係者の方々へ，ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 下村幸徳，上田芳夫，田坂広：喜連瓜破ディビダーク橋の補修と載荷実験，阪神高速道路公団第 26 回技術研究発表会，1993.
- 2) 若槻晃右，鈴木威，米澤康夫：喜連瓜破ディビダーク橋補強の設計，阪神高速道路公団第 36 回技術研究発表会，2003.
- 3) 橋本倫明，杉岡弘一：喜連瓜破ディビダーク橋補強の施工，阪神高速道路公団第 36 回技術研究発表会，2003.
- 4) 長澤光弥，黒須早智子，甲元克明：PC 有ヒンジ箱桁橋（喜連瓜破付近）のコンクリート調査結果について，阪神高速道路第 51 回技術研究発表会【非公開】，2019.
- 5) 平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査，2015.

PRESTRESSED CONCRETE BOX GIRDER BRIDGE REMOVAL METHOD FOR KIRE-URIWARI LARGE-SCALE RENEWAL PROJECT

Shinsuke WATANABE, Ryo NAKATA and Kengo MORI

Replacement of the Kire-Uriwari Bridge on the Matsubara Route (R14) of the Hanshin Expressway requires a part of the route to be closed to traffic for about three years, while keeping the impact to traffic minimum on the busy intersection directly under the bridge to be replaced. This paper reports on the prestressed concrete box girder bridge removal method which was developed and applied in the field, with such site construction conditions and environmental factors taken into account.

渡辺 真介



阪神高速道路株式会社
管理本部 大阪保全部
改築・更新事業課
Shinsuke WATANABE

中田 諒



阪神高速道路株式会社
管理本部 大阪保全部
改築・更新事業課
Ryo NAKATA

森 謙吾



阪神高速道路株式会社
管理本部 大阪保全部
改築・更新事業課
Kengo MORI