

都市高速道路における ASR 劣化が生じた橋脚梁部の再構築施工

阪神高速道路 西船場ジャンクション改築事業における事例紹介

若 槻 晃 右・山 中 利 明・大 高 正 裕

阪神高速道路西船場ジャンクションでは、既設橋脚を改築して車線を拡幅し、交差する大阪港線（東行き）と環状線（北行き）を接続する工事を行っている。

本工事の施工着手直前に既設 RC 橋脚梁の一部において、想定を上回る ASR（アルカリシリカ反応）に起因する劣化を確認した。そこで、既設橋脚部の劣化度調査を実施し、劣化の進行が著しい橋脚梁部については撤去・再構築を行う方針を決定した。

本稿では、橋脚梁の下部には一般道路の主要幹線が通り、橋脚が受ける高速道路を供用させた状態という厳しい施工条件下で実施した既設橋脚梁部の撤去および再構築施工について報告する。

キーワード：西船場ジャンクション, ASR 劣化, 再構築, 仮受け構造, 空頭制限, 高流動コンクリート, 大規模更新・修繕事業

1. 事業概要

西船場ジャンクション（以下、西船場 JCT）では、阪神高速道路 16 号大阪港線東行きと 1 号環状線北行きとを接続する信濃橋渡り線（仮称）の建設工を進めている（写真—1）。本事業は、上記 2 路線を直接接続するものであり、大阪港線東行き 1 車線拡幅（約 800 m）、環状線北行き 1 車線拡幅（約 710 m）と渡り線（約 180 m）の新設ならびに信濃橋入口の改築を行い、より使いやすいネットワークを形成する（図—1）。

現在、大阪西部および神戸方面から大阪北部方面へ向かう場合、環状線の南半分を周回するか、乗り継ぎ制度を利用して一般道路を経由する必要がある。本事業により、周回または乗り継ぎが不要となるため、時

間的損失の解消や走行距離の短縮による CO₂ 排出量の削減などの環境負荷低減効果とともに、大阪港線および環状線の 1 車線拡幅により合流部で発生している渋滞の緩和を図ることが期待されている。

本事業は平成 23 年 11 月に事業許可を受け、平成 25 年 7 月より現場に着手した。平成 29 年 5 月現在、大阪港線側では橋脚の梁拡幅工事が完成し、桁架設工事および環状線側の下部工工事が最盛期を迎えている。本稿は、このうち大阪港線拡幅部の ASR 劣化に起因する既設橋脚梁の撤去および再構築について報告するものである。



写真—1 西船場 JCT の事業箇所



図—1 西船場 JCT 改築事業概要

2. 既設橋脚梁拡幅の設計

既設橋脚梁の拡幅概要を以下に示す。

(1) 設計方針

大阪港線拡幅対象部は、多径間連続鋼桁橋5橋、単純鋼桁橋1橋、単純鋼箱桁橋2橋で構成している。拡幅橋脚（計19基：うちRC橋脚17基、鋼製橋脚2基）は写真-1に示すように都心部に位置し、人通りの多い街路の歩道部などがあるため、拡幅に伴い橋梁横断方向への新たな橋脚の設置が困難であった。そのため、歩道部に新たに柱を設けることなく既設橋脚の梁を拡幅し、拡幅桁を支持する構造を採用した。

(2) 梁拡幅橋脚の設計

(a) 常時の設計

荷重増分の影響について照査したところ、拡幅に伴い梁部の左右が均等化されるため、柱部および基礎部の応力度は許容値を満足する結果となった。一方、拡幅後の梁部については曲げおよびせん断応力が許容値を超過した。そのため、RC橋脚の梁部には、阪神高速道路12号守口線の守口JCTでも採用した外ケーブルによる補強を行うこととした（図-2）。

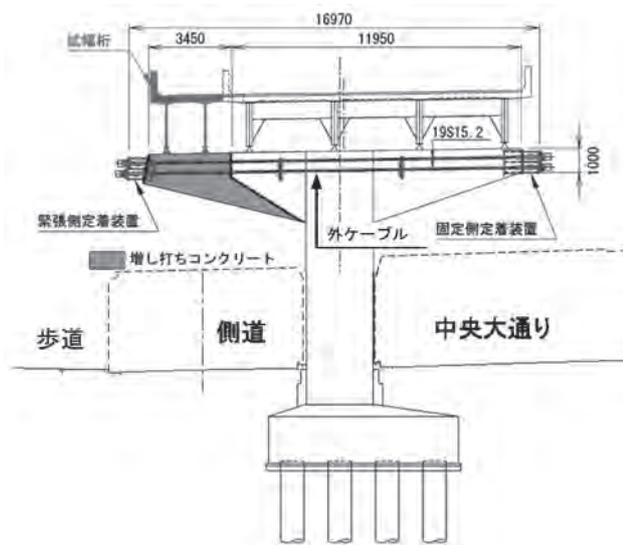


図-2 既設橋脚拡幅構造

(b) 地震時の設計

L1およびL2地震動に対しては許容値を超過する結果となり、柱部および基礎部に対する補強が必要であることが明らかとなった。しかしながら、当該箇所周辺は埋設管や大阪市営地下鉄の函体と近接しており、増杭などによる既設橋脚の耐震性能の確保は困難であ

ることから、既設橋脚間に、地震動による水平荷重のみを分担する新たな橋脚（鋼管集成橋脚：写真-2）を配置することとした。

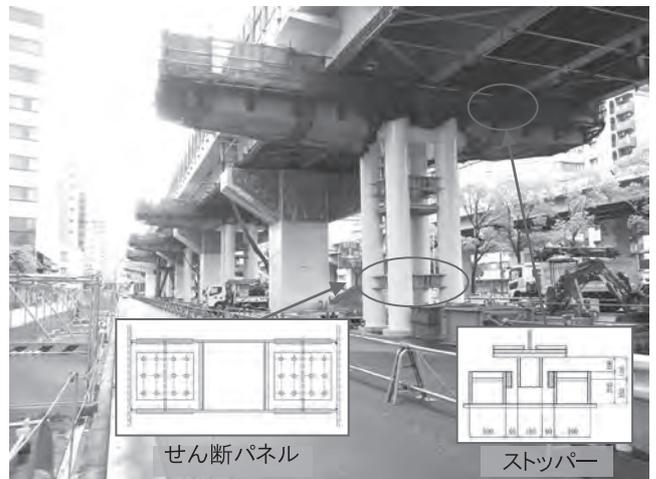


写真-2 鋼管集成橋脚

3. 既設橋脚コンクリートのASRについての調査およびASR橋脚への対応

当該拡幅区間（東下P38～東下P56）の橋梁は1970年代前半の竣工であり、一部の橋脚において過年度の定期点検でASR橋脚であることが確認されていた。拡幅後、新たに1車線分の荷重が载荷されることから、施工に先立ち既設構造物の健全度を詳細に調査した。

(1) 調査結果

対象橋脚において、過去に施工した表面保護工を撤去し、橋脚表面のひび割れ幅やひび割れ延長、コア採取による圧縮強度などの確認を行った。東下P44のひび割れ状況を図-3に、調査結果一覧を表-1に示す。



図-3 東下P44梁部のひび割れ状況

表面保護工撤去後にひび割れ調査を実施した結果、表面保護工上からは確認できなかったひび割れも観察された。圧縮強度試験を行うコアは、外ケーブルによる緊張の支圧部となる梁棲部から、1橋脚あたり3本

表一 1 ASR 調査結果

既設橋脚 番号	施工年度	圧縮強度 (N/mm ²)				ゲル 有無	最大 ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ 延長 (m)	外観劣化度 I~IV	残存膨張量 (%)
		No.1	No.2	No.3	平均					
東下 P39	1970 年 ∪ 1972 年	42.6	37.6	42.2	40.8	有	1.0	195.4	II	-
		39.2	33.6	38.3	37.0	有				
東下 P40		36.1	33.5	35.5	35.0	有	1.5	104.4	II	-
		32.6	32.5	35.7	33.6	有				
東下 P41		26.6	23.4	25.7	25.2	有	5.0	134.5	III	-
東下 P42		26.2	25.5	29.1	26.9	有	0.4	136.5	I	-
東下 P43		24.6	26.4	25.5	25.5	有	0.5	102.5	I	-
東下 P44		14.6	15.6	17.7	16.0	有	6.0	352.8	III	-
東下 P45		17.6	26.2	17.2	20.3	有	10.0	298.1	III	-
東下 P46		27.1	22.0	22.6	23.9	有	7.0	288.9	III	-
東下 P47		33.7	36.6	26.9	32.4	有	2.0	112.9	II	-
東下 P48		51.1	52.5	53.6	52.4	無	0.5	103.3	I	0.020 無害
東下 P49		37.7	30.6	32.3	33.5	有	1.0	217.0	II	-
東下 P51		1970 年 ∪ 1973 年	39.7	39.1	50.2	43.0	無	0.4	72.2	I
東下 P52	33.7		32.5	43.7	36.6	有	0.3	33.9	I	0.028 無害
東下 P53	37.7		54.6	48.4	46.9	無	0.5	45.2	I	0.021 無害
東下 P54	38.4		43.9	41.5	41.3	無	0.5	91.7	I	0.023 無害
東下 P55	39.6		35.8	40.9	38.8	無	0.3	43.0	I	0.018 無害
東下 P56	36.4		42.1	45.0	41.2	無	0.5	81.4	I	0.023 無害

表一 2 ASR 橋脚判定基準

(1) 幅 0.3 mm 以上のひび割れの総延長が 30 m 以上
(2) 上記に該当する橋脚のうち、ゲルが確認され、下記の ①または②に該当するものは「ASR 橋脚」と判定する ①梁部において幅 0.3 mm 以上のひび割れの総延長が 100 m を超えるもの ②採取コアの膨張率（全膨張率）が 0.1% を超えるもの

表一 3 外観劣化度

劣化度 I : 1 mm 未満
劣化度 II : 1 mm 以上が部分的に発生
劣化度 III : 1 mm 以上の明瞭なひび割れが梁天端、側面に発生。 複数のひび割れが梁端部まで連続
劣化度 IV : 最大幅 3 mm 以上のひび割れが梁天端に複数本発生。 凸型柱天端や梁端部に顕著なひび割れ発生

採取した。圧縮強度試験および静弾性係数が低い橋脚については、アルカリ骨材反応が進行したものと推察された。

ASR 構造物の維持管理マニュアル（平成 19 年 1 月 阪神高速道路(株)）では、表一 2 により ASR 橋脚として判定することとしており、調査結果を総合的に勘案した結果、東下 P39～東下 P47 および東下 P49（計 10 基）が ASR 橋脚と判定された。外観劣化度については基準（表一 3）により、各橋脚の劣化度を I～III と判定した（表一 1）。

なお、健全と判定した東下 P48 および東下 P51～東下 P56 についても、アルカリ骨材反応が進行中である可能性があったため、残存膨張量試験を実施した。結果、いずれの橋脚においても竣工から 40 年以上経過していることを考慮しても残存膨張量率は表一 2 の基準値：0.1% を下回っており、健全な橋脚である

ことを確認している。

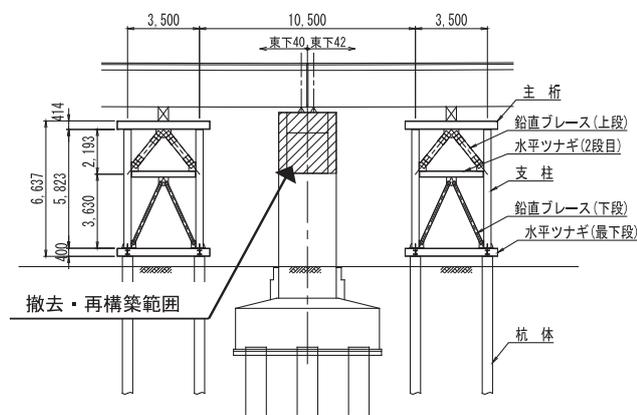
(2) ASR 橋脚への対応

拡幅対象橋脚のうち、ASR 橋脚と判断されたものについては対策を実施することとした。なお、梁の拡幅後、新たに 1 車線分の荷重が載荷されることを考慮して、判定された劣化度より 1 ランク上の劣化と設定して対策を検討した。

外観劣化度 I～II と判定した橋脚においては、ASR の進行を抑制するために塗布系の表面保護工を施工した。表面保護材は、ひび割れ状況を継続して観察するために、透明度の高い工法（スケルトン工法）を採用した。また、外観劣化度 II の橋脚については、外ケープルの支圧部において、緊張時にコンクリートが圧壊する懸念があったため、支圧部コンクリートを打ち替えた。

外観劣化度Ⅲの橋脚（計4基：東下P41, 東下P44～東下P46）については、コンクリートの強度低下に加え、拡幅に伴い新たな荷重が作用することおよび長期耐久性を考慮して、梁部の再構築を実施することとした。

高速道路桁を支持したままの状態では梁部をコンクリートで巻き込むような形状で施工することや、鋼材で巻き込むようにして補強するような構造案についても検討を行ったが、梁部の重量が増加することで、基礎への負担が増加することから採用には至らなかった。また著しくASR劣化した構造を今後引き継ぐことの無いよう、橋脚の起終点両側で仮受け構造にて既設桁を支持し、梁部を完全に撤去の上、RC構造にて再構築する方針となった（図一4）。



図一4 仮受け構造図（東下P41橋脚）

4. 再構築橋脚の施工条件

車線拡幅を踏まえた再構築の方針は決まったものの、対象橋脚は供用中の高速道路を支持している状態であり、高速道路の通行止めをしない条件での施工が求められた。また、橋脚梁部の下には大阪市街地の主要幹線である中央大通（東行き）が存在し、その交通への配慮も求められた。

5. 仮受け構造の設計および施工

仮受け構造の設計および施工について、以下に示す。

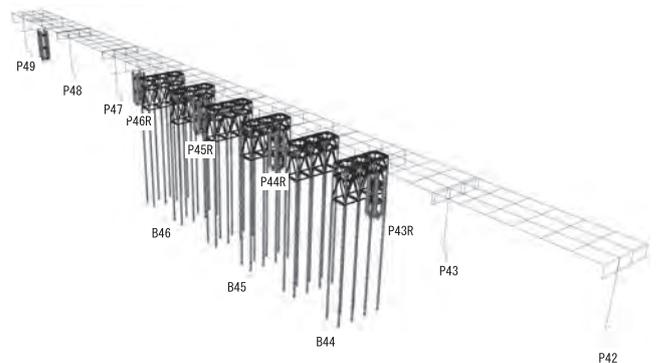
(1) 仮受け構造の設計

既設橋脚梁の撤去および再構築の施工工程より、1橋脚あたりの仮受け期間は9か月程度になることが想定された。仮受け構造の仕様は、いわゆる一般的な「仮受けベント」とは異なり、一定期間の交通荷重および

地震動に耐え得る構造が必要であったため、支持層に達する杭基礎を有するものとした。

耐震性能として、仮受け橋脚単独では静的設計としてL1地震動に対して許容応力度法で部材仕様を決定した。L2地震動に対しては、連続桁区間（東下P39～東下P42, 東下P42～東下P49）の3次元連成動的解析（図一5）を実施し、崩壊に至らないレベル（耐震性能Ⅲ）であることを確認した。動的解析には前出の地震時の水平力分担を目的に施工する鋼管集成橋脚もモデルに組み込んだ。

既設橋脚の起終点側に仮受け構造を設けるため、既設桁の支点の位置が変わることになる。よって、桁に発生する断面力分布が変わることになり、特に既設の支点付近では発生曲げモーメントの正負が逆転する現象が生じるため、既設桁に補強が必要になった。



図一5 3次元連成解析モデル（東下P42～49橋脚）

(2) 基礎杭の施工

仮受け構造の基礎杭は既設桁の直下での施工が必要となり空頭制限は約9.5mであった。また、既設橋脚と鋼管集成橋脚に挟まれた空間での施工となり平面的にも制約の厳しい施工条件であった。

(a) 工法概要と特徴

本工事における基礎杭形式は、回転杭工法、中掘杭工法、H鋼杭工法を比較検討した。回転杭工法は、直接圧入方式のため、孔壁保持の必要が無く近接構造物への影響は殆ど無い。低空頭制限下でも回転式圧入工法にて打設が可能で必要本数を現場溶接することにより長尺の鋼管杭の圧入が可能である。また工期が最短、仮設備規模およびコストが最小である理由から採用した。

先端翼付き回転貫入鋼管杭（つばさ杭：開端タイプ）は、鋼管下端に回転貫入用の翼を取り付けた鋼管杭であり、杭体を回転させることにより地盤内に貫入する。この先端翼は、杭としての供用時に先端地盤反力を受ける支持体として機能するものである。

空頭制限下での施工が必要になることから、写真—3に示すように相伴機となるミニクレーンを用いて施工機のオーガー回転部へ下側から取り込むことで、吊り代を考慮する必要がなくなり、継ぎ杭1本あたりの長さを最大に確保することが可能となった。

回転杭施工に当たり、近接施工となる既設4橋脚について、沈下および傾斜を自動追尾式トータルステーションにて計測管理を行った。



写真—3 鋼管杭取り込み状況

(b) 工事規模、施工数量

主要工事数量は以下の通りである。

- ・鋼管： $\phi 500$ mm $t=9$ mm

JIS A 5525（鋼管杭）に規定される SKK400

本数 $n=64$ 本 長さ $L=26.0 \sim 26.5$ m/本

継手箇所数 4 箇所/本

(3) 鋼製仮受け構造設置工

鋼製仮受け構造は基礎杭と同様、空頭、平面的に厳しい施工条件下での施工が必要となり、仮受け構造の天端と既設桁下端との離隔は、わずか 600 mm での施工が必要であった。

(a) 工法概要と特徴

本工事では、既設桁との離隔が少なく、クレーンによる揚重作業が不可であった。このため写真—4に示すように、予め空頭制限が無い箇所で地組した仮受け構造を横移動して所定の位置に取り込む軌条設備を設置する案を採用した。この設備を利用して、チルホールおよびチルタンクで引き込み、先に施工した杭頭部にプレートを介し連結構造とした。仮受け構造は、各ブロック3分割で組立、横移動を実施した。

鋼製仮受け構造完成状況を写真—5に示す。



写真—4 仮受け構造地組状況



写真—5 鋼製仮受け構造完成

(b) 工事規模、施工数量

主要工事数量は以下の通りである。

- ・軌条設備：H-300 × 300 × 10 × 15

- ・受梁：H-150 × 150 × 7 × 10 合計 6.37 t/set

- ・仮受け構造

主桁：H-414 × 405 × 18 × 28

支柱： $\phi 355.6$ $t=9.5$ mm

合計 77.86 t/橋脚 × 4 橋脚

6. 再構築橋脚梁の設計および施工

再構築橋脚梁の設計および既設橋脚梁の撤去方法、再構築施工について以下に示す。

(1) 再構築橋脚梁の設計

対象橋脚の梁部は、前出の通り RC 構造で再構築することを決定した。当初設計に対し梁部の重量が増加した場合、既設橋脚の柱部および基礎部への影響が懸

念された。そのため、当初設計と同断面（同形状）で橋脚梁を設計することが求められた。

拡幅による曲げモーメントの増分に対しては配筋を増やすことで対応することとなったため、主鉄筋が非常に過密な断面となった。過密配筋の緩和を目的として、せん断補強筋には機械式定着鉄筋（Tヘッド工法鉄筋）を用いた。

柱梁接合部については、既設橋脚の柱鉄筋をそのまま用いるため、梁付け根部から上部 1.1 m の範囲はコンクリートをはつり、鉄筋を露出させる方法を用いることとした。

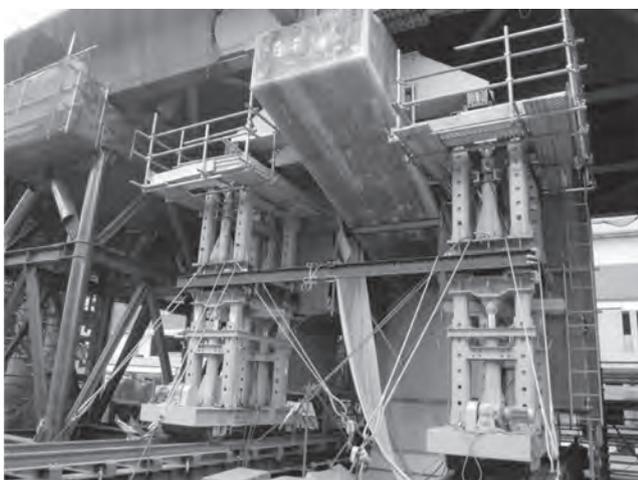
(2) 既設橋脚梁撤去工

既設橋脚梁の撤去は都市部での撤去作業となることから騒音や振動にも配慮が求められたため、可能な限り大割で部材を切り出すこととした。また、仮受け構造の施工と同様、供用されている高速道路既設桁の直下という厳しい条件下での施工が求められた。

(a) 工法概要と特徴

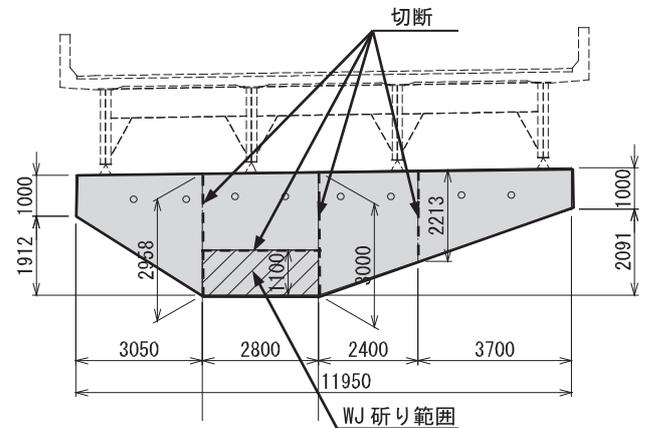
本工事を進めるに当たり、中央大通（東行き）の本線車道を切廻し、3車線固定規制を実施した上でクレーン揚重が可能な最低限の施工ヤードを確保した。梁部切断撤去ブロックの最大重量を 36.8 t とし、120 t クレーンでの吊り上げ計画とした。搬出作業は鋼製仮受け構造設置工で用いた軌条設備を改良し、写真—6 に示すような自走式油圧ジャッキ架台を使用し、ワイヤーソーにて切断した大割ブロックに鋼棒を通して治具で固定し、空頭制限の無い箇所まで引き出した後に搬出する工法を採用した。図—6 に示すように梁部の切断は4分割とし、柱の鉄筋定着部は、ウォータージェット工にて斫り出しを行った。

ワイヤーソーによる切断は昼間施工としたが、軌条



写真—6 自走式油圧ジャッキ架台

設備上の移動、120 t クレーンを用いての揚重および搬出は夜間作業にて行った（写真—7）。安全面に対しては、切断作業時のブロック転倒や軌条設備の逸走防止や滑動に対し計測を行い、慎重な作業を行った。



図—6 既設橋脚切断位置



写真—7 切断ブロック搬出作業

(b) 工事規模, 施工数量

主要工事数量は以下の通りである。

- ・コアボーリング工： $\phi 204$ mm, L=70.40 m
 $\phi 160$ mm, L=492 m
- ・ワイヤーソー工：122.6 m²
- ・ウォータージェット工：7.82 m³
- ・梁部切断撤去ブロック：16 基× 32 t/ 基=512 t

(3) 橋脚梁部の再構築施工

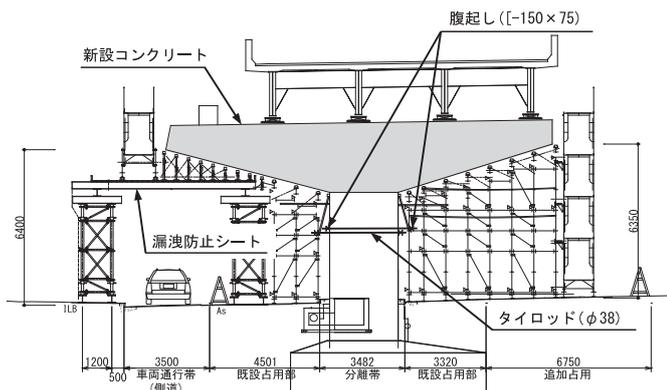
再構築橋脚の設計にも記載した通り、当該橋脚梁の配筋は非常に過密なものとなった。さらに既設橋脚桁下端との離隔は 400 mm と非常に狭い条件下での施工が必要となった。また、拡幅側橋脚梁の下部には中央大通の側道が供用された状態にあった。

(a) 工法概要と特徴

橋脚梁の支保工構造は、側道部を通行止めできないため、門型支保工を計画した。

コンクリートポンプ車による打設は配管施工等も計画したが、既設橋脚桁下空間が狭隘かつ過密鉄筋であったことから締め固め不良や充填不良を生じさせる懸念があったため、自己充填性がある高流動コンクリート（スランプフロー：65 cm）を採用した。

再構築工における型枠支保工計画図を図一七に示す。



図一七 型枠支保工計画図

側道上の支保工は、建築限界 4.7 m を確保し、門型に組立、受桁および主桁材を配置しコンクリート荷重を受け持つ構造とした。またφ38 mm のタイロッド材と [-150 × 75 の腹起しを使用して既設柱から反力を取る構造とし、打設時の水平分力に耐えうる構造とした。また、側道部の支保工下部には外部足場を構築し、下方への漏えい防止シートの完備と、養生ネットを併設し、第三者に対するリスクアセスメントを図った。

(b) 工事規模、施工数量

主要工事数量は以下の通りである（4基計）。

- ・コンクリート工：高流動コンクリート (27-65-20BB)
301.9 m³
- ・型枠工：419.2 m²
- ・鉄筋工：84.9 t
(機械式継手 473 箇所 ガス圧接 340 箇所)

7. おわりに

既設橋脚に発生していた ASR に起因する橋脚梁の再構築について、記載したような厳しい条件下での施工となったものの、平成 29 年 3 月に 4 基すべてのコンクリート打設が完了した（写真一八）。平成 29 年 7 月には、すべての橋脚で仮受け構造から再構築橋脚への受け替えを完了する予定である。



写真一八 再構築橋脚

阪神高速道路として大規模更新・修繕事業を鋭意推進しているが、本施工はその先駆けとして実施しており、ここで得られた知見を今後の事業に活用していく。

なお、西船場 JCT 改築事業は平成 31 年度の事業完了に向けて施工を進めており、今後も品質、安全に留意して邁進していく。

JICMA

《参考文献》

- ・若槻見右、齊藤暖、曾我恭匡、横山健司「西船場 JCT 建設工事における既設橋脚の更新」、プレストレストコンクリート MAR-APR.2017 Vol.59 No.2 pp.81-86, 2017 年
- ・ASR 構造物の維持管理マニュアル、平成 19 年 1 月 阪神高速道路㈱
- ・「供用したままアル骨橋脚を再構築」日経コンストラクション 12 月 12 日号 pp.8-13, 2016 年

【筆者紹介】

若槻 見右 (わかつき こうすけ)
阪神高速道路㈱ 建設・更新事業本部 大阪建設部
西船場ジャンクション建設事務所 工事長代理



山中 利明 (やまなか としあき)
清水建設㈱ 関西支店土木部 工事長
阪高西船場 JCT 作業所 現場代理人



大高 正裕 (おおたか まさひろ)
清水建設㈱ 関西支店土木技術部 主査

