

報告 阪神高速道路大和川線三宝ジャンクション工事における新旧構造物の一体化と耐震補強技術

木下 義康*1・田島 祐介*2・北村 将太郎*3

要旨: 本工事は阪神高速道路大和川線の三宝ジャンクションにおいて、本線合流部の走行性と維持管理性を改善するために、新旧の橋梁上部構造物を一体化するとともに、下部構造についても一体構造にして現行の耐震基準を満足するように耐震補強を行った。下部構造の耐震補強は、①基礎杭に鋼コンクリート複合杭工、②既設フーチングに後施工せん断補強筋工 (CCb)、③既設橋脚梁に外ケーブル補強工および炭素繊維補強工を組合せる方法を採用し、様々な制約条件の中で施工を行ったことについて報告する。

キーワード: 耐震補強, 新旧構造物一体化, 鋼コンクリート複合杭, 増杭, 増フーチング, CCb

1. はじめに

大阪都市再生環状道路は、大阪都心部の慢性的な渋滞緩和を目的として計画された道路であり、全区間が完成すれば、延長 60km の環状道路が形成されることになる

(図-1)。三宝ジャンクションは、現在整備中の大阪府道高速大和川線と供用中の阪神高速 4 号湾岸線を接続する連絡路である。

三宝ジャンクションのうち、三宝入路 (泉佐野方面行き: 図-2) において、本線合流部の走行性と維持管理性の改善を図ることを目的として、新旧上部構造物を一体化し橋梁の縦目地を無くすこととした。また、上部構造物の一体化に伴い既設橋脚の負担が大きくなるため、下部構造も門型の一体化構造とし、現行の耐震基準を満足するよう基礎杭、フーチング、橋脚梁の耐震補強を行った。



図-1 大阪都市再生環状道路

2. 工事概要

2.1 三宝ジャンクションの概要

三宝ジャンクションの完成予想図を図-2に示す。

三宝ジャンクションは、新設する三宝料金所から 4 号湾岸線および大和川線にアクセスするランプ (コンクリート橋 25 橋, 鋼橋 15 連) で構成される。



図-2 三宝ジャンクション完成予想図

*1 阪神高速道路株式会社 建設事業本部 堺建設部 大和川線建設事務所 工事長代理 (正会員)

*2 阪神高速道路株式会社 建設事業本部 堺建設部 大和川線建設事務所 主任

*3 阪神高速道路株式会社 建設事業本部 堺建設部 大和川線建設事務所 技師

2.2 三宝入路（泉佐野方面行き）の概要

断面図

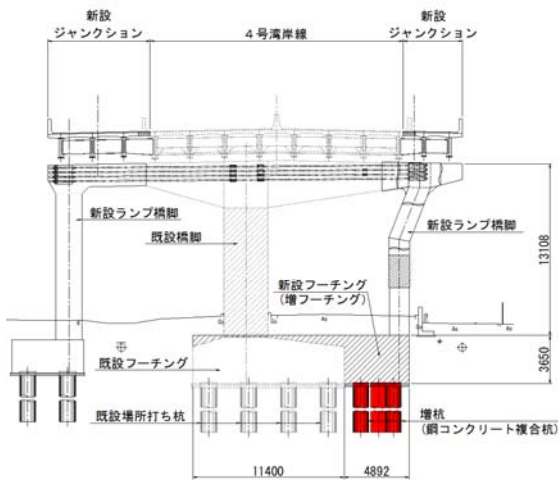


図-3 橋脚構造断面図（PC3橋脚）

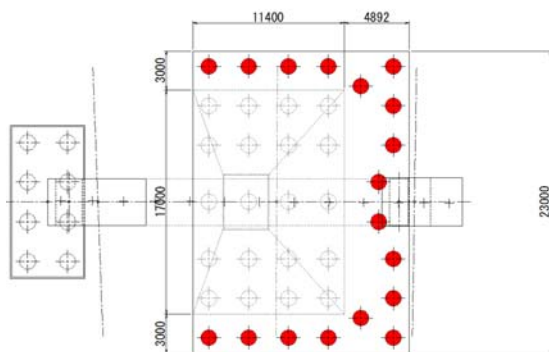


図-4 橋脚構造平面図（PC3橋脚）

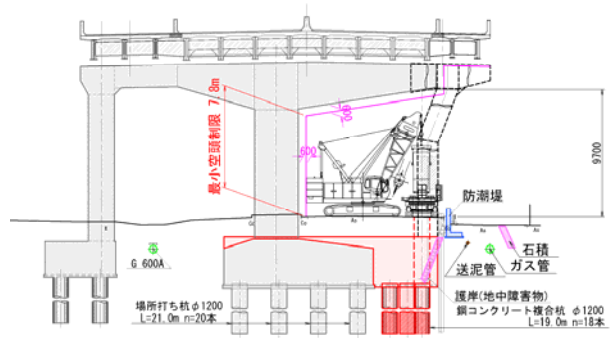
本報告は、三宝ジャンクションのうち三宝入路（泉佐野方面行き）の橋脚PC1～PC6-1（図-3、図-4、図-5）について行うものである。対象橋脚周辺の現地条件は、以下のとおりである（図-6）。

(1) 空頭制限：最小空頭制限7.8m（4号湾岸線下）

(2) 重要構造物近接：4号湾岸線構造物，ガス管

下水送泥管，防潮堤に近接

(3) 地中障害物：杭施工位置に旧海岸線の石積護岸が存在



凡例

- 施工対象杭およびフーチング
- 既設4号湾岸線構造物
- 大阪ガス 高圧ガス管φ600，中圧ガスφ600
- 下水送泥管(S200A)
- 防潮堤
- 地中障害物(旧護岸他)

図-6 施工条件（重要構造物，地中障害物）

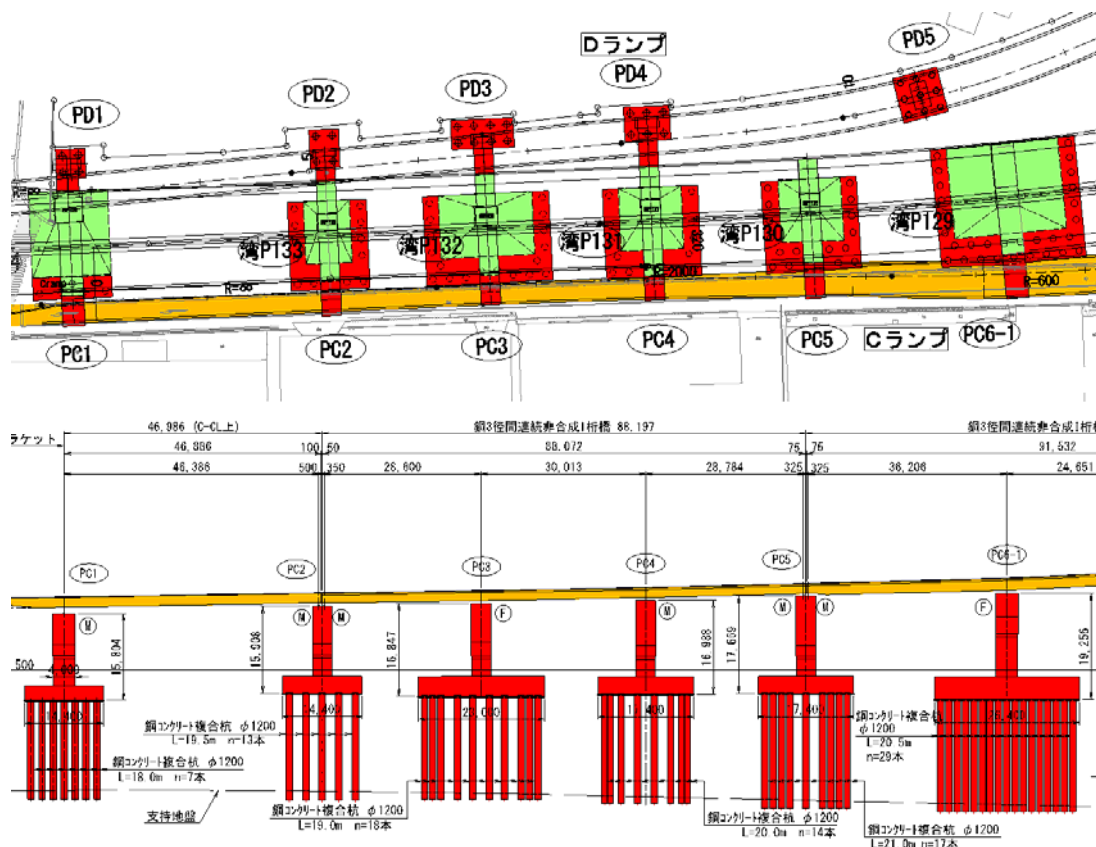


図-5 三宝入路（泉佐野方面行き）橋脚平面図・縦断面図

2.4 新旧構造物の一体化概要

当初、三宝ジャンクションが4号湾岸線に合流する箇所は単体の構造として計画されていたが、走行性と維持管理性の改善を目的として、橋梁の縦目地が無い連続した構造に変更することとした。新旧上部構造の一体化に伴い、単体構造では生じていなかった曲げモーメント及びせん断力が既設構造物に生じることとなったため、新旧下部構造についても一体化し、既設構造物への負荷を低減させた上で、以下の耐震補強を実施した(図-7)。

(1) 基礎杭に対する耐震補強

既設フーチング周りに、鋼コンクリート複合杭を打設し、既設杭の分担荷重を軽減する。

(2) 一体化フーチングに対する耐震補強

既設フーチング上面から、後施工せん断補強筋(CCb)を挿入定着し、追加配筋後、増コンクリートを打設し、既設フーチングの曲げ及びせん断耐力を向上する。

(3) 一体化橋脚梁に対する耐震補強

外ケーブル及び炭素繊維シートを設置し、PC梁構造の既設橋脚を損傷させることなく、曲げ及びせん断耐力を向上する。

3. 施工内容

3.1 鋼コンクリート複合杭工

3.1.1 施工概要

杭種：鋼管(SSK400, SSK490, 一部内面リブ加工, 先端杭ビット付)

杭本数：98本

杭径及び杭長：φ1.2m, L=18.0~21.0m

工法：全周回転型掘削機を用いた鋼管杭圧入工

継手：機械式継手(ラクニカンジョイント)

3.1.2 地質概要

既設防潮堤沿いの埋土層範囲については、旧石積み護岸が存在しており、支持層は、洪積砂層(N≧50)である(図-8)。

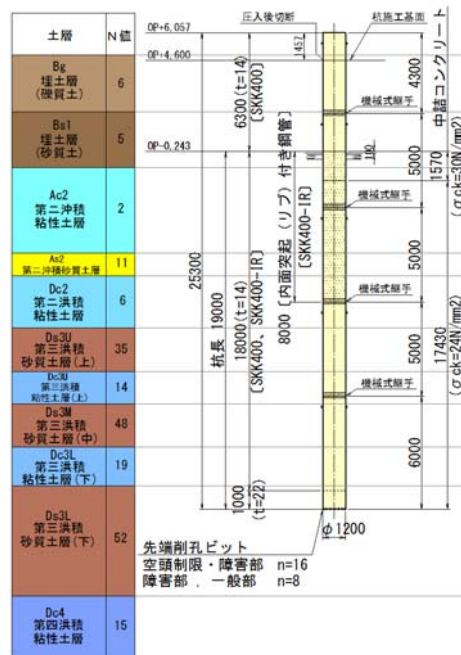


図-8 地質概要および鋼コンクリート複合杭構成図

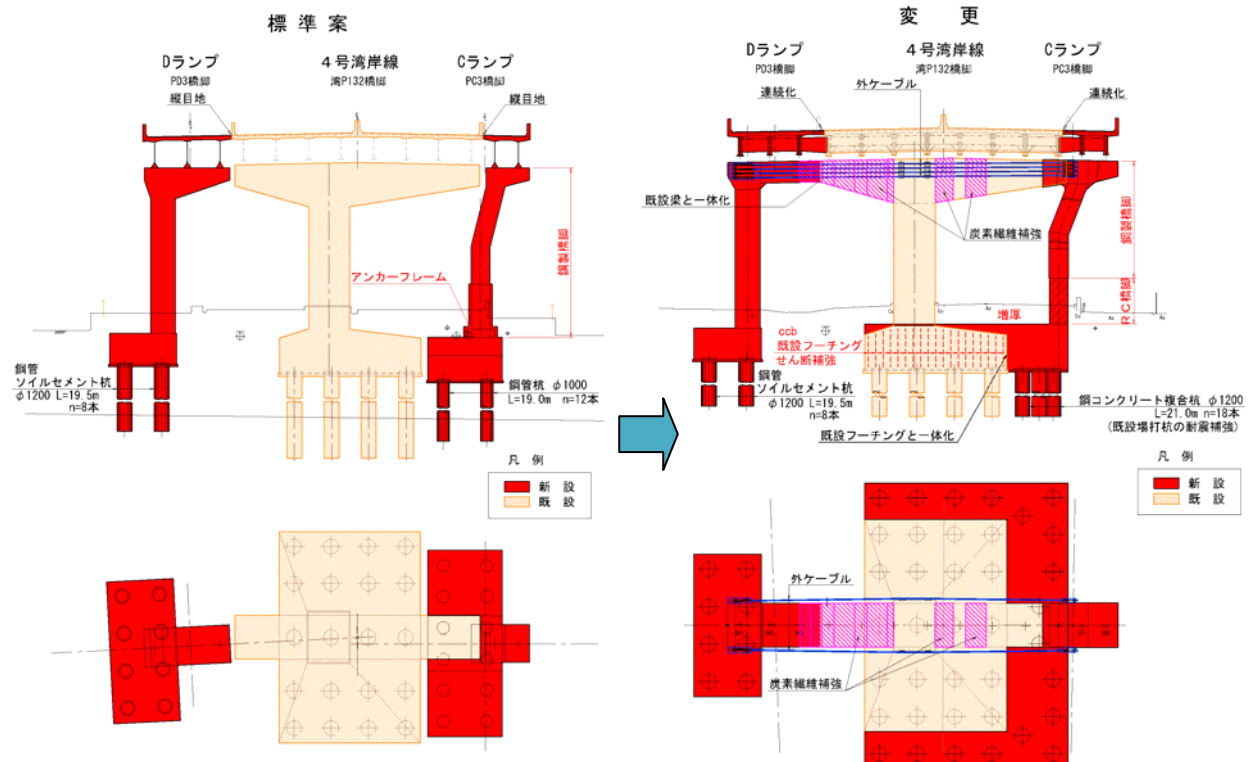


図-7 新旧上下部構造の一体化と耐震補強概要

3.1.3 鋼コンクリート複合杭の特徴

(1) 既設杭の効果的な補強

当初、既存の場所打ち杭及び中掘鋼管杭による増杭が設計検討された。PC6-1橋脚について場所打ち杭を検討した場合、鋼コンクリート複合杭の約1.8倍の本数が必要となった。既存の場所打ち杭等による増杭の場合、必要本数が多く、現地の制約条件のため配置不可能であることから、既設杭がL2地震時のせん断耐力照査を満足できない結果となった。今回採用された鋼コンクリート複合杭は、鋼管杭内部にコンクリートを充填したものであり、高い水平剛性と軸剛性により既設杭が分担するせん断力を緩和できる基礎杭である。鋼管内部は、リブ構造を採用しコンクリートと鋼管との一体性を確保した複合構造となっている。設計検討の結果、配置可能本数で所定の耐震性能を満足することができた。

(2) 鋼管及び先端削孔ビット

施工場所は、既往の調査から旧石積み護岸が存在すると想定されたため、鋼管先端部に先端ビットを取付け、障害物を切削しながら鋼管を圧入可能とした。これまでのオールケーシング工法で用いるケーシングは、先端の極厚鋼管（ $t=45\text{mm}$ ）にビットを16個程度取付ける仕様が一般的であったが、今回は、品質及びコスト面に配慮し、設計に必要な鋼管厚（ $t=22\text{mm}$ ）の仕様としケーシングの約半分の板厚を採用した。また、杭の周面摩擦へ

の影響を考慮し、先端削孔ビットの突出量を鋼管外面に10mmで制限した。先端削孔ビット数は、障害が予測される範囲には16個、障害が無いと予測される範囲には半数の8個とした。

(3) 機械式継手（ラクニカンジョイント）

杭継手数は、空頭制限により最大12箇所となるため、溶接継手から機械式継手（ラクニカンジョイント）に変更することで、4ヶ月程度工程を短縮することができた。継手時間は、1箇所15分程度であった。工程短縮により、近接する既設杭の外周地盤の緩み等への影響、溶接時の白色ヒュームガス発生等の環境負荷、溶接工の人員不足問題についても低減することができた。機械式継手は、鋼材をリング鍛造し接合面は削り出しで寸法精度を高めた製品で、鋼管架設後、小型の六角レンチで荷重伝達キーを突出させ継手を嵌合する（図-8）。

3.1.4 試験施工と品質管理の取組み

今回採用した鋼コンクリート複合杭は、過去に実績がない基礎杭であり、通常のオールケーシング工法における施工管理に加え、品質確保の取組みとして予め4本の試験施工を行い、懸念される問題点に対する解決策を検証し実施に反映させた（表-1）。

表-1 試験施工で確認した鋼コンクリート複合杭の品質確保に対する取組み

品質確保の着眼点	懸念される問題点	解決策および施工管理方法
鋼コンクリート複合構造の確保	鋼管内の土砂付着により、コンクリートの鋼管との接合不良	①鋼管内面清掃機を立案し、高圧水で鋼管内面の清掃を行う(写真-3) ②試験杭は、テレビカメラで鋼管内面清掃状況の確認を行う(写真-4)
	水中打設に伴うコンクリート打ち上がり 上面の強度不足	③場所打ち杭用水中コンクリート配合の適用 30-15-40BB（設計では $24\text{N}/\text{mm}^2$ で評価、 $C\geq 350\text{kg}/\text{m}^3$ ） ④杭底面のボイリングを防止した上で、管内水位を低下させ、構造上重要な杭上部（内面リブ範囲）をドライ打設の可否を試験施工で試みる ⑤フーチング掘削後、鋼管内部でシュミットハンマー等で圧縮強度を確認する
杭の支持力の確保	掘削中の土砂細粒分（スライム）が沈降し、杭先端部のコンクリートの脆弱化を引き起こす	⑥管内掘削水を濁水処理プラントで循環浄化し、管内掘削水の細粒分を減少させる ⑦スライム処理にサンドポンプを用い、強制的にスライム除去を行う
	支持層の不一致 周面摩擦層の不一致	⑧油圧ハンマークラブで、支持層土砂を採取し、土層の一致を確認する ⑨全周回転型掘削機の回転トルク、押し込み力も補足資料としてデータを採取し土層との比較を行う ⑩静的載荷試験で鉛直、水平支持力を確認
機械式継手の品質確保	掘削負荷で回転抑止キーを損傷する 掘削振動で回転抑止キーが緩み脱落 掘削中に油圧ハンマークラブが鋼管天端に接触し機械式継手が損傷する	⑪掘削機の上限トルクを継手の安全性を十分に確保した上で設定し、六角ボルト貫入深さ確認ゲージを用いて嵌合確認(写真-1)。 ⑫回転抑止キーを固定するボルトの先端形状を楔形とし、緩み止め対策を製造段階で講じる(写真-4)。 ⑬機械式継手保護キャップで鋼管天端を養生して掘削

3.1.5 施工制約条件下における対策

施工制約条件については、以下の対策を行うことで工事を施工した。

(1) 低空頭（最小：7.8m）に対する対策

低空頭用のクレーン及び吊治具を使用（写真－2）し、既設構造物との必要な離隔 60 cm を確保した。

(2) 重要構造物（既設湾岸線、防潮堤、地下埋設物）近接に対する対策

既設湾岸線及び防潮堤等の重要構造物については、自動追尾型光波測距儀による動態観測を行うことでリアルタイムに変状を監視した。

(3) 重要構造物近接及び旧護岸等の障害物に対する対策

通常、地中障害物がある場合、事前にそれらを撤去し一旦充填材等で埋戻しを行った後、杭打設を行う。今回は、掘削・埋戻しの繰返しによる周辺地盤の緩みを最小限に抑えるため、先端ビット付の鋼管杭を使用したオールケーシング工法による杭打設を実施することで、重要構造物への影響を最小限に抑えた（写真－5）。

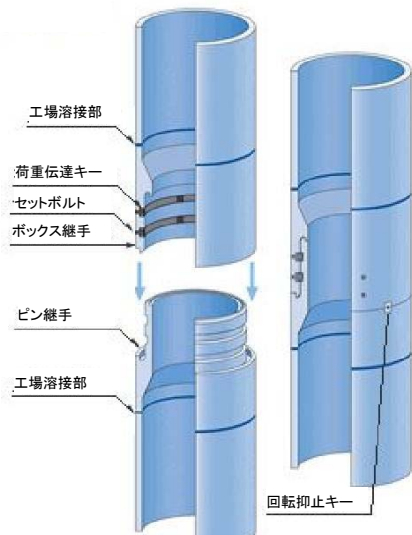


写真－2 低空頭用クレーンを用いた杭施工状況



高圧噴射ノズル

写真－3 高圧洗浄ノズルを用いた鋼管内面清掃機



図－8 機械継手概要図



写真－4 水中カメラによる清掃状況(内面リブ目視確認)



写真－1 六角ボルト貫入深さ確認ゲージ



写真－5 杭先端ビット付鋼管

3.2 後施工せん断補強筋工

3.2.1 施工概要

対象橋脚：4基

削孔径及び削孔深さ：φ36mm，L=2.6～3.7m

施工本数：1,646本

工法：CCb(セラミック・キャップ・バー)



写真-6 C C b 工法部材の構成

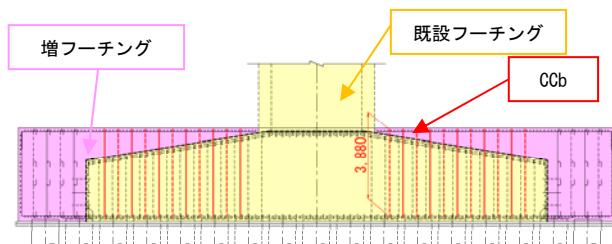


図-9 既設フーチング C C b 配置図

3.2.2 C C bの概要

C C bは、写真-6に示すとおりセラミック製の定着体を取付けたせん断補強筋により既設構造物の耐震性能(せん断耐力・じん性)を向上させるものである。一般的なせん断補強鉄筋による補強は、せん断耐力に低減定数0.6を乗じるのに対して、C C b工法の場合、低減定数が0.98となり高いせん断補強効率を得ることができる。補強効率の高いC C bを用いることで、施工本数を最少化し既設構造物への影響を最小限にするとともに工程を短縮した。



写真-7 既設フーチングのC C b 施工状況

3.2.3 試験施工

C C bは、30cm程度の壁体等では実績が多いものの、本工事のような大型構造物(約4m)では実績が無かったため、試験施工により施工の可否及び既設構造物への影響を検証し実施工を行うこととした。

(1)削孔及びC C b挿入の可否

削孔径φ36mm，削孔長さ4.0mの削孔及び鉄筋挿入について、工法及び精度ともに施工可能であることを確認した。

(2)孔内清掃及びドライアウト防止剤塗布方法

C C b挿入において、孔内の清掃程度や、削孔壁面からグラウト材の水分が吸収されることで起こるドライアウト現象の品質への影響について検証を行った。

1)孔内清掃

削孔及び孔内清掃において、削孔粉を特殊集塵機で吸引後、カメラにより目視した結果、品質上問題とされない程度に清掃可能であることを確認した。

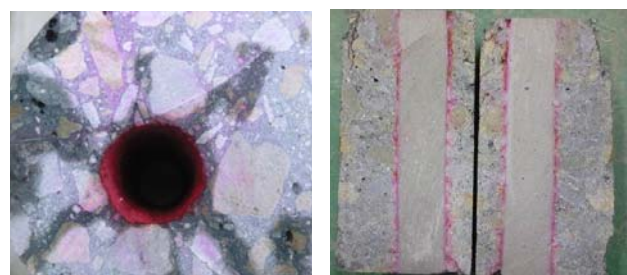
2)ドライアウト防止剤塗布

噴霧器及びウェス付棒により塗布した後、孔底に残ったドライアウト防止剤を特殊吸引機により吸引撤去することで、良好な清掃状況を確認した。

(3)削孔に伴う既設構造物への影響

1)ボアホールカメラによる孔内表面を目視確認したが、有害となるひび割れは観察されなかった。

2)隣接する孔(最小間隔300mm)についてφ150mmの供試体を採取したところ、削孔に起因するひび割れやグラウトと既設構造物との界面における空隙は観察されなかった(写真-8)。



ひび割れ無し(L=2.0m)

空隙無し

写真-8 供試体確認

3.2.4 施工結果

削孔箇所の約半分について、既設フーチングの下側鉄筋に干渉したが、孔の再削孔を行うことは既設躯体の現状悪化となることが懸念されたため、せん断耐力照査を行った上で、削孔した孔を無駄にすることなくC C bを定着した。(図-9)

4. まとめ

今回、阪神高速道路大和川線の三宝ジャンクションにおいて、新旧の橋梁上部構造物を一体化するとともに、下部構造についても一体構造にして現行の耐震基準を満足するように耐震補強を行うことができた。

今後、国内ではコンクリート構造物の長寿命化が求められていく中で、既設コンクリート構造物の補強に対するニーズは益々増えていくものと考えられる。本工事の実績事例が、今後の一助となれば幸いである。