

淀川大橋における 3D 計測を活用した鋼床版取替事例報告

THE ORTHOTROPIC DECK REPLACEMENT CASE REPORT UTILIZING
3D-MEASUREMENT AT YODOGAWA-BRIDGE

伊藤安男*

Yasuo Ito

ABSTRACT Yodogawa-Bridge has been utilized for over 90 years. The main structures and RC slabs were repaired many times because of the damage by the World War II and aging. The RC slabs have the rebar corrosion and the concrete delamination due to the chloride attack and the traffic loads. Hence the deteriorated RC slabs were replaced by the orthotropic decks without shutting off the road in this project. This paper reports on the outline of construction work and the 3D measurement used for pre-measurement.

KEYWORDS : 大規模更新, 床版取替, 鋼床版, 3D計測

Bridge renewal, Replacement, Steel orthotropic deck, 3D measurement

1. まえがき

淀川大橋は国道2号の一部として、大阪市に流れる淀川を渡河する橋長724mの道路橋である。橋梁形式は、中央径間の鋼6径間単純上路式ワーレントラス橋、両側径間が鋼12径間単純鉸桁橋からなる全30径間の橋梁であり、床版はすべてRC床版であった。1926年に完成した淀川大橋は、路面電車と車両の併用橋として建設されたが、1975年に軌道撤去を行い現在の歩車道専用橋となった。(写真-1, 2) 第二次世界大戦(1945年)や兵庫県南部沖地震(1995年)の被災を乗り越え、軌道撤去に伴う車道の4車線化が図られるなど時代とともに利用形態は変化しているが、完成から90年以上経ったいまでも、橋桁は建設当時のまま多くの歴史を刻んでいる。その交通量は35,000台/日となっており、大阪-神戸間の大動脈として、大きな役割を果たしている橋梁である。

写真-1 1929年頃の淀川大橋¹⁾

写真-2 工事着手前(2017年)の淀川大橋

* (株) IHI インフラシステム 橋梁技術室設計部 課長 (〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町3番地)

これまでの主な維持管理として、大阪平野の地盤沈下による橋脚沈下に対応する橋脚沓座のかさ上げや、第2次世界大戦などで損傷した部材の修繕等が行われ、現在まで供用されてきている。その一方で、老朽化に伴う床版コンクリートの剥離、鉄筋露出、漏水および鋼部材の腐食といった損傷が著しく、橋梁の耐荷性能が低下していた。そこで、床版取替えを主とした大規模更新工事を実施し、長寿命化を図った。

本工事では、建設時の詳細な記録が残っておらず、供用後の地盤沈下、空襲、地震や路面電車の軌道撤去などの影響を考慮すると、事前に既設桁の出来形を詳細に計測する必要があった。そこで、工事受注後ただちに、固定式レーザースキャナ（FARO社製 Focus3D）を用いた3次元出来高計測（3Dスキャナ）を実施し、得られた点群データ（図-1）から幅員、主桁・横桁の通り、路面高や主桁下端高などの詳細情報を収集し、工場製作に反映した。



図-1 3Dスキャナによる点群データ(鉸桁橋)

2. 既設橋梁の構造的特徴

2.1 既設RC床版

鉄筋が配置された既設RC床版（図-2の青色部分）は厚み約150mmであり、その上部に厚み約200mmの高さ調整コンクリートがある。傷んだ舗装や高さ調整コンクリートは、上面からの切削・補修が繰り返されてきた。また、床版下面は、建設時に使用された菱形金網や丸鋼鉄筋が残っており、過去にコンクリート剥落部分をポリマーセメントモルタルによる断面修復等が施されているが、多くの場所で再劣化が見られた。

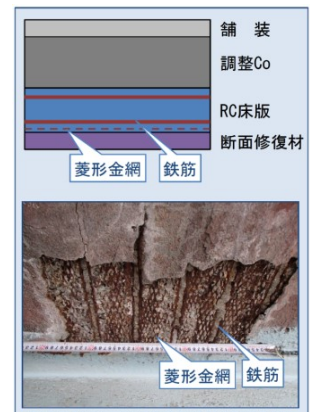
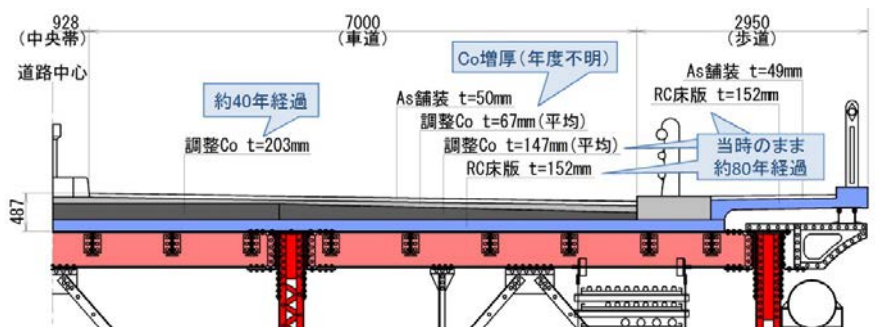


図-2 既設RC床版・舗装構成

2.2 鋼桁

鉸桁橋は、橋軸方向に約1mピッチで設けた対傾構によりRC床版を支持する構造をしており、その結果、主桁上フランジがRC床版内に埋設されていることが特徴である（図-3）。床版に埋設されていた主桁部分（特に上フランジ下面）に大小様々な腐食が発生していたが、部分補修で収まるレベルの損傷具合であったため、床版取替えの工程に影響を与えることなく工事を進めることができた。



<一般的な橋梁>

<淀川大橋>

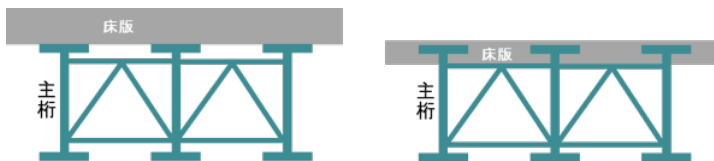


図-3 鉸桁部の構造図

2.3 過去の補修歴

中央径間のトラス橋の主構は第2次世界大戦時中に激しい空襲を受け、トラス橋の一部は崩落し(写真-3)、戦後に復旧された。また、崩落を逃れたトラス主構には、機銃掃射による多くの弾痕が補強されて、そのまま残っている(写真-4)。1959年に損傷が著しい斜材に、現場溶接による当て板およびパイプ材が設置されたが、その溶接部にき裂損傷が多く生じていた(写真-5)。本橋の鋼材には、現在のJIS規格の鋼材と比較してリン(P)や硫黄(S)といった靱性を低下させる不純物が多く含まれており、溶接接合に適さないことが原因で現場溶接部からき裂が発生したものと推測される²⁾。



写真-3 空襲直後のトラス橋



写真-4 弾痕（過去に補強済み）



写真-5 過去の現場溶接による当て板補強

3. 工事の概要

本工事の目的は、上部工の劣化した部材の更新および下部工の耐震性能の向上である。

部材の更新として、鉸桁橋およびトラス橋のRC床版はすべて鋼床版に取替えた。また、鉸桁橋は1m間隔で配置されている対傾構（下弦材除く）をすべて取替え(図-4)、トラス橋では床組および対傾構（下弦材除く）をすべて取替えた(図-5)。また、併せて腐食やき裂損傷のある鋼部材は部材取替えや当て板補強等の修繕を実施した。

建設当時のまま使用されている橋脚および基礎の耐震性能を向上させるため、今回の工事で取替える床版にコンクリート系床版と比べ軽量な鋼床版を採用した(図-4、図-5)。RC床版(12,000t)から鋼床版(4,700t)に取替えることにより、上部工死荷重を約65%に大幅削減できるため、橋脚や基礎の補強をすることなく下部工の耐震性能を向上させることができる。さらに鋼床版を採用することにより、コンクリート系床版に比べて現場施工期間の短縮が可能になり、非出水期施工となる本工事において、この工期短縮は非常に大きなメリットであった。

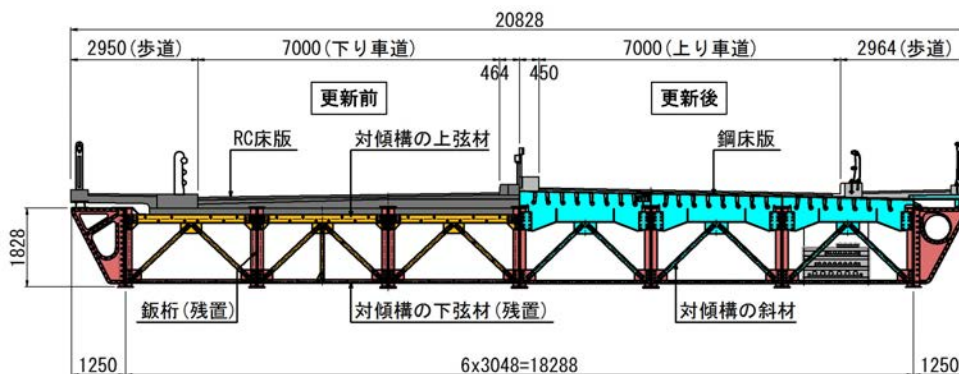
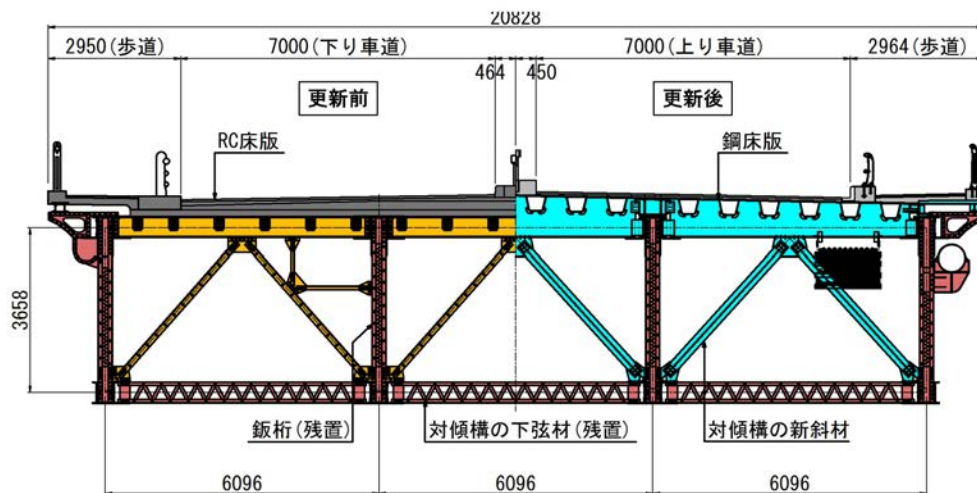


図-4 鉸桁橋の更新



図－5 トラス橋の更新

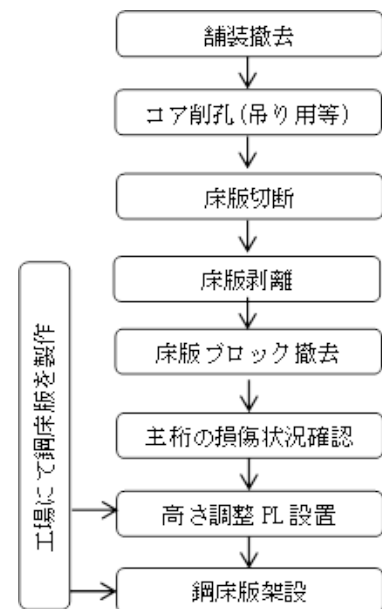
4. 床版取替の施工

一般交通を供用させながらの施工であることから施工ヤードが非常に狭く、1径間ごとにRC床版撤去・鋼床版架設を行い、架設後の鋼床版上から隣の1径間の床版取替えを実施する施工手順を採用した。工程短縮のため、全30径間を8工区に分けて(1工区あたり3~5径間)、上記の施工手順を8工区同時に実施した。

1径間ごとの床版取替えの主な施工手順を図-6に示す。これは国内で行われる一般的な床版取替えの施工手順である。

舗装版撤去後に、吊り用孔や主桁位置確認用の孔のコア削孔(写真-7)を行った。次に、既設RC床版を現場から搬出可能なサイズになるように、カッター切断機とワイヤーソーマシンにより矩形状に床版切断(写真-8)を行った。油圧ジャッキを用いた床版剥離機を使用して、切断した床版を主桁から引き剥がし(写真-9)、引き剥がした床版ブロックをクレーンにて撤去した(写真-10)。

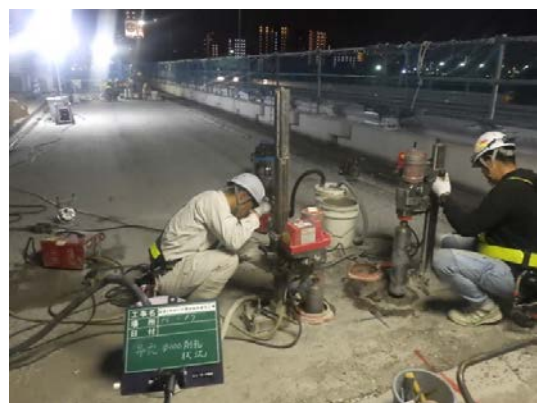
主桁上フランジを埋設している主桁近傍の床版はエアブレイカーを用いた手すりによって撤去した。床版を撤去した後、ただちに既設主桁上フランジの損傷状況を確認し、損傷を想定して予め製作していた補強材を用いて損傷箇所の補修を行った。



図－6 床版取替施工フロー



写真－6 舗装版撤去



写真－7 コア削孔

鋼桁橋には横構がなく、既設床版撤去した状態の横荷重に対する抵抗力が低下することによる横倒れ座屈防止のため、仮設上横構を設置した。その後、工場で製作した鋼床版部材を現場搬入し、既設主桁上に高さ調整PLを設置し、仮設上横構を撤去後ただちに鋼床版を架設した（写真-12）。

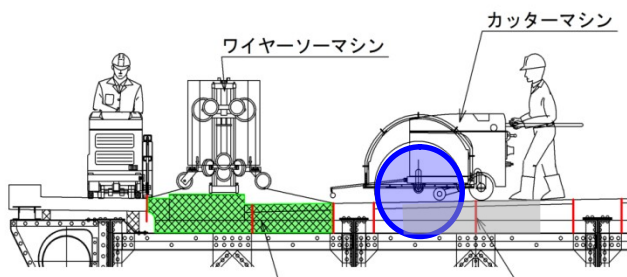


図-7 床版切断図



写真-8 カッター切断



写真-9 床版剥離



写真-10 床版ブロック撤去



写真-11 床版撤去後の鋼桁

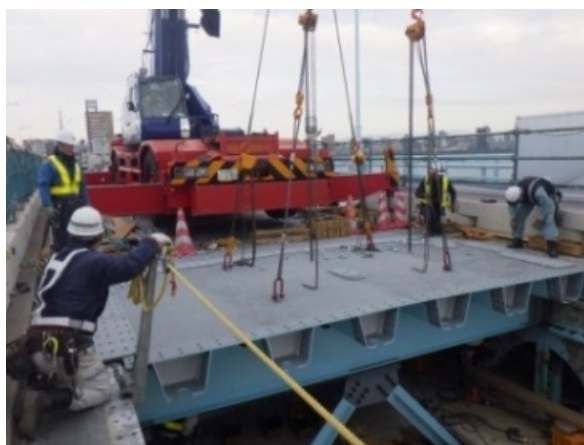


写真-12 鋼床版架設

5. 3D計測

5.1 3D計測を採用した理由

淀川大橋床版取替工事において、3Dレーザースキャナを用いた3D計測を採用するに至った理由を以下に示す。

- ① 建設時の詳細な記録が残っていない
 - ・竣工図がほとんど残っていない（鈑桁全24径間で図面2,3枚程度）（図-8）
 - ・手書きで一部不鮮明（拡大しても読めない箇所がある）
 - ・使用単位がインチ（mmに変換必要。変換時に微妙な誤差発生）
- ② 供用後の地盤沈下, 空襲, 地震や路面電車の軌道撤去の影響がある
 - ・周辺地盤の沈下が確認されており, 橋脚の移動・沈下が懸念される
 - ・第二次大戦中の大阪大空襲や兵庫県南部沖地震などの被災による弾痕・変形が確認される
- ③ 橋全体を橋軸方向に3分割して施工（Ⅲ期施工）（図-9）
 - ・各期の施工完了時には舗装を復旧し, 車線開放する必要がある
 - ・各期ごとに床版取替部の路面高と既設路面高とを合わせる必要がある
- ④ 検査路なし, 事前調査用足場なし（出水期中の足場設置不可）
 - ・鈑桁部範囲には検査路が設置されておらず, 路面から路下に降りるための昇降設備も設置されていない
 - ・橋自体が堤防よりも低い位置にあり, 出水期中は事前計測用足場の設置ができない
- ⑤ 直接計測できない不可視部がある
 - ・鈑桁主桁上フランジが床版に埋設されているため, 床版コンクリートを撤去しない限り主桁上FLG天端のエレベーションを直接計測することができない。また, リベット配置, 板厚・幅も確認できない

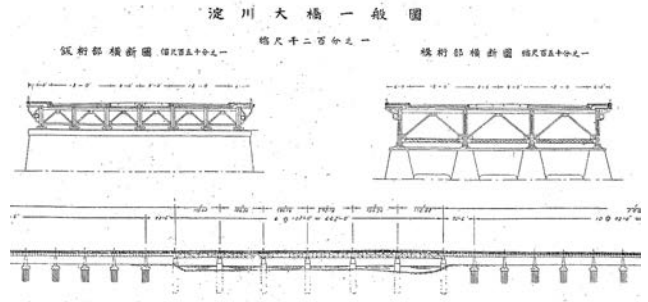


図-8 竣工図

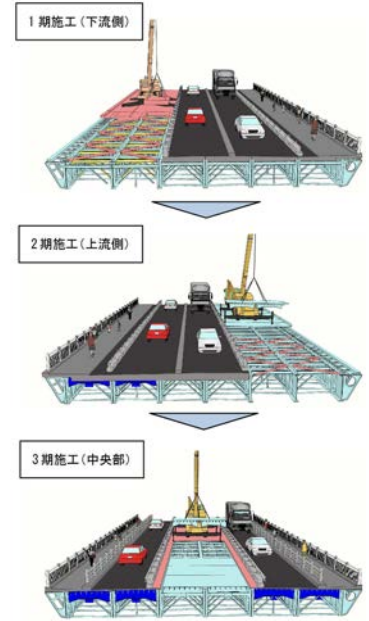


図-9 施工ステップ

5.2 計測項目・計測方法

鋼床版製作前の事前計測として、3D計測に加え手計測などの従来計測を併用することにより、それぞれの計測の得手不得手を補い情報の不足を解消した上で工場製作に結果を反映した（表-1）。

近接して確認・計測が可能な鈑桁部端径間の主桁リベット配置の確認や上部工検査路が設置されているトラス部の支点部（脚上）および格点部の干渉物の確認等は、フィルム型を当てるなど従来の近接手計測により詳細寸法を計測した（写真-13）。



写真-13 フィルム型によるリベット配置確認

表-1 計測項目・計測方法

計測手法	計測箇所		範囲	計測項目	備考
近接手計測	鈑桁部	端径間	A1~P1区間、P29~A2区間	・既設図面との整合性確認 ・リベット配置の確認	足場なしで 近接可能箇所のみ実施
		トラス部	支点部(脚上)	P12~P18区間	・干渉物の確認 ・補強部材との取合いの確認
	格点部		親綱(ロープ足場)		
3Dレーザースキャナ +TS	橋全体	路面(橋面)	A1~A2間(全径間)	・現況線形の確認 ・既設断面図、平面図の復元 ・主桁主構高さ、変形の確認	歩道部から計測
		路下(橋梁部)			台船等を利用した計測

鋼床版の高さや既設桁と取り合う縦桁横桁配置を決定するための橋梁骨組形状の計測には、非接触で全体の3次元形状を捉えることが得意な3Dレーザースキャナと測量精度・信頼度の高いトータルステーション(TS)によるトラバース測量を組み合わせることにより測点座標を確認しながら30径間分の橋梁全体モデルの作成を進めた。

計測対象の淀川大橋は橋長が約725mとレーザースキャナの計測可能半径330mを超えていたため、両側の河川敷からの計測だけでは中央径間のトラス部の計測が不可能であった。そのため、両河川敷からの全体スキャンの他に台船で橋脚へアプローチし橋脚側面に仮受けブラケットをアンカーで設置して1径間毎に路下からスキャンを実施する計画とした(図-10、写真-14)。計測箇所数は、1橋脚につき8~10箇所。29橋脚全てで実施し、路下の計測だけで合計246箇所の計測を実施した。

また、既設とすり合わせる路面高の情報を得るために路面の歩道上にも等間隔にレーザースキャナを据え、上流側・下流側合わせて120箇所ですり作業を繰り返した。

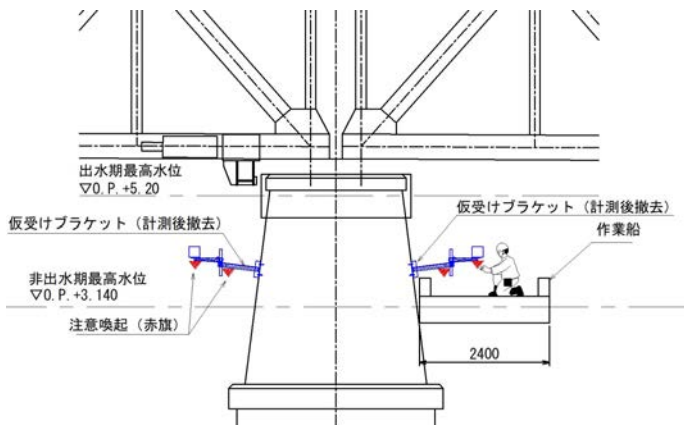


図-10 仮受けブラケット設置要領



写真-14 仮受けブラケット設置状況

5.3 計測結果

路面・路下および河川敷からスキャンした全ての点群データを合成し、『橋梁丸ごと3Dモデル』を作成した(写真-15)。作成した3Dモデル上での測点の抽出および計測例を写真-16に示す。

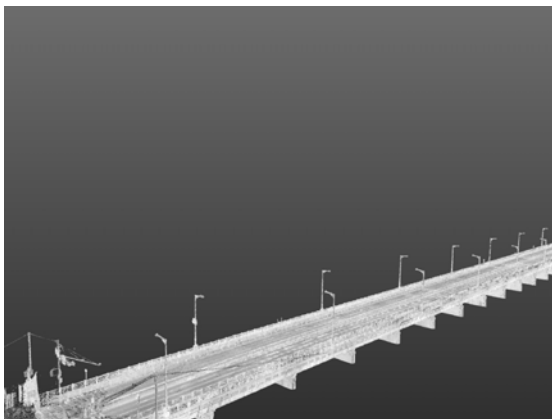


写真-15 橋梁丸ごと3Dモデル

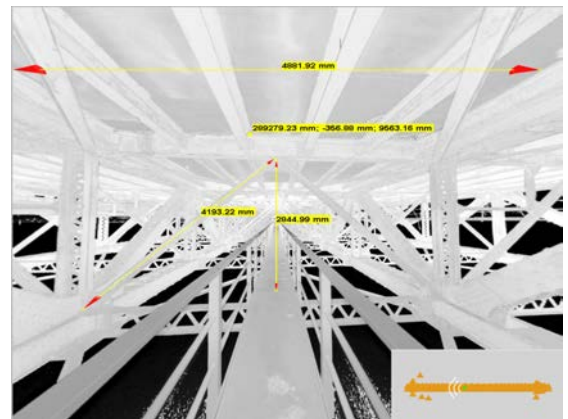


写真-16 レーザースキャナ結果サンプル

最終的に淀川大橋全体モデルを作成するために路面・路下・河川敷でスキャンした回数は400回を超え、得られた点群データの総点数は約12億点となった。現地計測から3Dモデル作成・測点座標の抽出までに掛かった期間は約3ヶ月である。

一方、総点数約12億点に対して点群データから工場製作へ反映するために必要としたデータ数は僅か2,040点(使用率:0.0002%)と150断面および60平面の切り出しであった。

5.4 製作・架設への反映

(1) 製作キャンバー

RC床版から鋼床版に取替えることで大幅な死荷重低減が図られるため、既設の主桁はたわみが減少する方向（鉛直上方向）に変形する。本橋ではこのたわみ差を、既設桁と取り合う鋼床版の嵩上げ縦桁高を変化させることで吸収した。嵩上げ縦桁の製作高さは、計画路面高から求まる「鋼床版上面高」と既設桁の高さ計測より求まる「既設桁主桁天端高」の差として算出し、これに床版取替えによるたわみ差を製作キャンバーとして加えることで決定し、工場製作に反映した（図-11）。

ただし、床版取替施工前の主桁上フランジ側はRC床版に埋設された不可視部であり（図-3）主桁高は実測できないため、建設時の図面值を使用して想定した。さらに、構造解析と実挙動の差など諸々の誤差要因に対しては、RC床版撤去後に既設主桁天端高を計測し、高さ調整用フィラープレートにて高さの最終調整を行った。

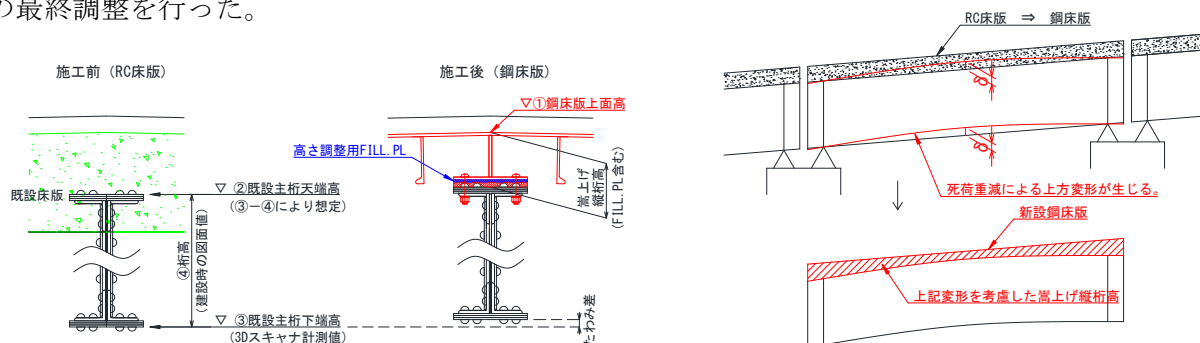


図-11 嵩上げ縦桁高さの調整イメージ

(2) 幅員、主桁・横桁の通り

既設主桁・主構に新たに横リブを取付けることは困難であり構造が複雑化することから、既設横桁・対傾構の仕口を再利用して鋼床版の横リブを設置する構造とした。そのため、既設部材と取り合う新設鋼床版の横リブ配置はそれぞれ鈹桁部では1m 間隔で配置されている既設対傾構の2倍の2m 間隔、またトラス部は3.2m 間隔で配置されている既設横桁（＝対傾構上弦材）と同じ間隔に合わせる必要があった。（写真-17、写真-18）



写真-17 鋼床版（鈹桁部）



写真-18 鋼床版（トラス部）

橋梁全体モデルの中で各径間の桁芯ズレ量を起終点両端部で計測し、端部鋼床版パネルの擦付け用拡幅量に反映した（図-12）。桁芯ズレ量の最大値は20mmであった。

また、I期およびII期施工の鋼床版についてはそれぞれ既設の3主桁と嵩上げ縦桁で取り合う構造となる。そこで、中央の基準桁ウェブ中心の通りを既設主桁と嵩上げ縦桁で一致させた上で基準桁以外の桁と取り合う嵩上げ縦桁下フランジのボルト孔位置を主桁間隔のズレ量分ズラして工場で孔明けを実施し架設した（図-13）。主桁間隔のズレ量は最大12mmであった。

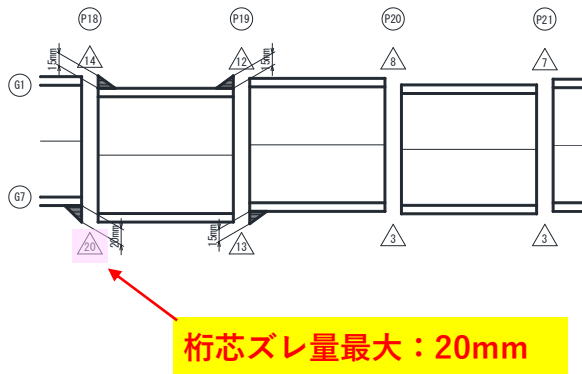


図-12 各径間の桁芯ズレ量

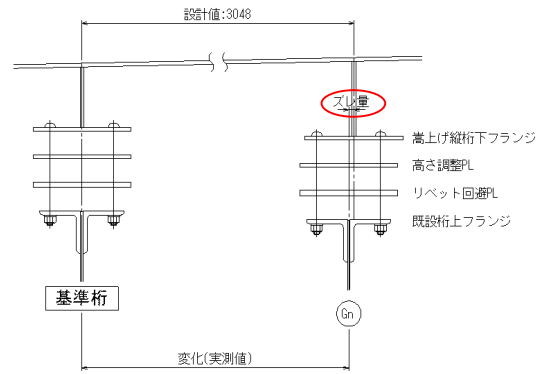


図-13 主桁間隔のズレ量

6. おわりに

今回の大規模更新工事は大正時代に構築された淀川大橋の長寿命化として実施した。2020年現在、供用から94年経過した淀川大橋は、今後も引き続き適切な維持管理が実施され、更に100年間の使用を見据えている。

本工事で既設橋全体形状の把握に3Dレーザースキャナを活用したように、近年、測量機器の発達により所謂「ビックデータ」と呼ばれる大量の情報を比較的簡単に得られるようになった。しかし、現実には、本工事で実施したように3D計測のみに頼るのではなく、3D計測に加え手計測などの従来計測を併用することにより、それぞれの計測の得手不得手を補い情報の不足を解消すべき状況であることに注意が必要である。つまり、得られた情報を活かすのは我々技術者の工夫と経験である。

現状では、人間の脳と同じでその機能・得られた情報を100%フルに有効活用することは不可能に近いように感じる。むしろ逆に言えば、まだまだ「3D計測」および「ビックデータ」の活用法には未知の可能性が秘められているとも言えるのではないだろうか。

淀川大橋のように今後更新を迎える高齢橋の修繕においては、建設時の詳細な記録が残っていないということも十分想定される。今後は、3Dレーザースキャナで計測・合成した『橋梁丸ごと3Dモデル』のようなIT・ビックデータを既設橋梁の復元設計や耐震補強設計の動的解析モデルの作成、床版取替時のカンバー検討に用いる骨組み解析モデルに活用する等、BIM/CIM, i-Construction (アイ・コンストラクション)の実現に向けた『新たな橋梁のコンピューティング技術』としてより具体的に、より効率的に有効活用される日が来ることを期待している。

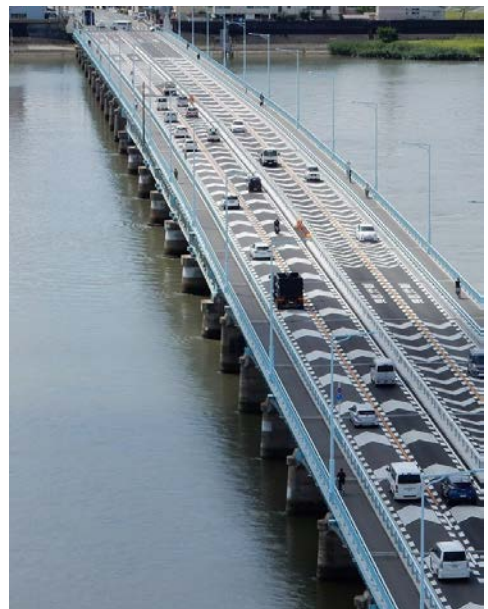


写真-19 工事完了後(2020年)の淀川大橋

参考文献

- 1) 大阪市産業大観, 1973
- 2) 新都市社会技術融合創造研究会: 高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究 成果報告書, 2013.2