

常磐快速線利根川橋梁改良工事

佐々木 昭 悟・斎 藤 聡・成 嶋 健 一

常磐快速線天王台・取手間利根川橋梁は、1896年（明治29年）に単線で開業後、1923年（大正12年）に複線開業し、その後、1963年（昭和38年）の河川改修により現在位置に建設された。その際、上り線桁は旧桁を移設再利用し、約90年間供用されてきたが、上部工の老朽化の進行と下部工についても早い段階から変状が発生していた。それらの要因と今後の維持管理性・安全性等を総合的に判断し、別線方式による全面架替え計画を決定、2009年（平成21年）より架替え工事に着手し、2015年（平成27年）に完成した。本稿では、架替えに至った経緯と新橋梁の設計・施工について報告する。

キーワード：橋梁架替え、鋼管矢板井筒基礎、トラス桁架設、安全管理、線路切換

1. 変状概要および架替えに至った経緯

現橋梁は、全長約964m、高水敷部はデッキガーダ（L = 19.2m, 23連）、流水部の上り線桁は曲弦プラットトラス（L = 62.4m, 8連）、下り線桁は平行弦ワーレントラス（L = 62.4m, 8連）である（写真—1）。

上り線桁は移設再利用時に鋼桁フランジに型钢を溝型に組み合わせた溶接補強を行っているが、経年による腐食と列車の繰返し荷重等により補強部材本体や溶接線を起点とした亀裂が多数発生した。一方、下り線桁は、溶接が鋼桁に導入された初期のもので、技術の未成熟による構造上の課題が多く、部材接合部の疲労亀裂が多数発生し、その都度補修・補強を行ってきた。また、流水部前後の上路飯桁の下部工は直接基礎で、厚く堆積した軟弱な沖積粘性土の上部の薄い沖積砂質土層で支持されているため、建設当初から継続的に圧密による沈下が進行しており、数回にわたり桁座と軌

道のこう上を実施するなど、長年にわたり維持管理に苦慮してきた。

さらに、大規模地震時の地盤液状化による下部工の傾斜、上部工の落橋やRC橋脚の耐震性能の不足が懸念されたことから、今後のメンテナンス、トータルコスト等を総合的に勘案し、諸課題を包括的に解決でき、技術的に最も合理的かつ輸送の継続性を確保できる全面架替えを行うこととした。

2. 改良工事全体概要

新橋梁は、現常磐快速線と常磐線各駅停車との間（1896年開業時の位置）に新設する計画とし、上部工は、2～3径間連続の鋼トラス橋4連（延長約1.0km、鋼材総重量約9,400t）、下部工は、橋台2基、橋脚8基で構成した。起点方には、橋梁に接続するためのアプローチとして、ラーメン高架橋（延長約360m）、補強盛土（延長約140m）を新設した（図—1(a),(b)）。

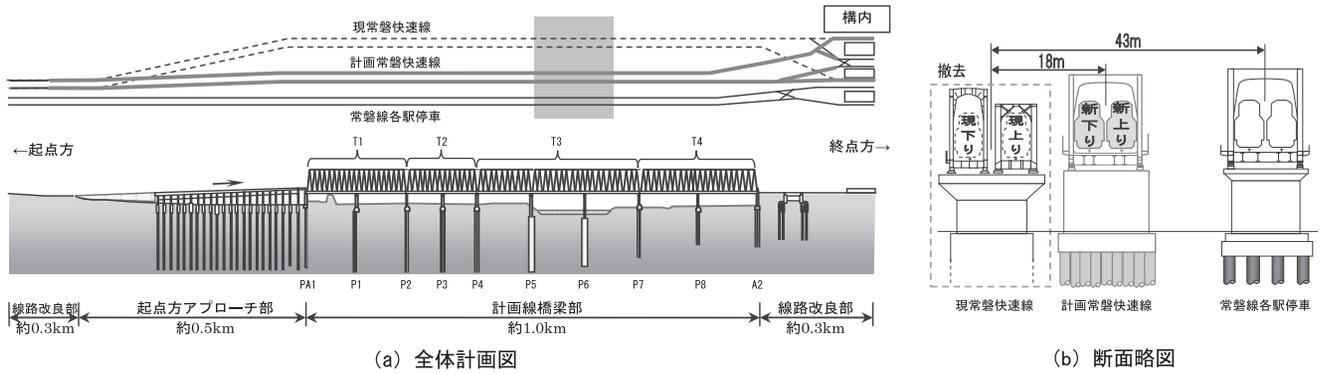
3. 設計

(1) 設計方針

本工事における構造選定にあたっては、以下の項目を基本に計画を行った。①現橋梁の変状進行を鑑み、可能な限り工期を短くできる工法であること、②営業線に近接した施工であることから営業線に影響を及ぼさない工法とすること、③今後のメンテナンスに要する労力を最小化できる構造であることなどである。



写真—1 現利根川橋梁全景



図一 橋梁架替え計画図

(2) 橋梁下部工の構造計画

下部工の構造形式の選定条件として2回の渇水期(11月～5月)で確実に施工を完了させることが、工事の全体工程を左右する重要な条件であった。また、基礎新設範囲には単線開業時の旧基礎が残置されており、旧基礎の効率的な撤去工法の選定と隣接線への影響が極力少ない構造・施工方法を検討した。

このことから流水部の基礎構造は、仮締切りを兼用でき、かつ旧基礎を取り囲み、支障物の撤去が最小限とすることが可能な鋼管矢板井筒基礎とした。基礎は、長径15.826m、短径12.931mの小判型であり、鋼管はφ1,200mm、t=14～19mm、L=38m(P5)、34m(P6)である。仮締切り兼用であるため、鋼管矢板井筒内部の掘削・排水後は、土圧や水圧などにより鋼管矢板が変形した状態となり、その段階で発生するひずみや応力は、頂版コンクリートの打設・硬化により拘束され、基礎本体に残留することとなる。したがって、この残留応力を基礎完成後の外力による応力として設計に考慮した。高水敷の橋脚は、確実な杭断面形状を確保でき、孔壁崩壊がなく営業線への影響が少ないオールケーシング場所打ち杭を採用した。

(3) 橋梁上部工の構造計画

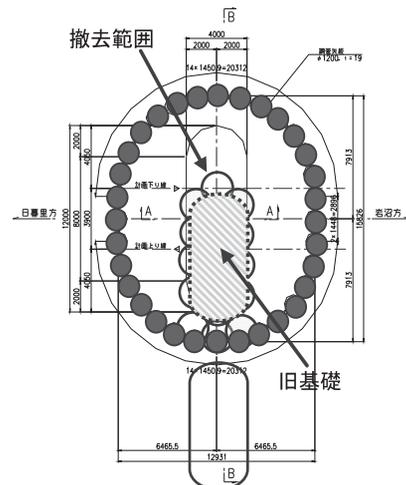
上部工の構造については、鋼材重量やメンテナンス性に優れ、下部工の躯体幅の最小化、また上部工の架設期間の短縮を可能とする鋼下路トラス形式とし、高水敷は2径間連続桁、流水部は3径間連続桁とした。床組み構造は、疲労に対する弱点構造を削減するため鋼床版による閉床式とした。起点方のT1桁は、県道170号線および河川の堤防を跨ぐため、空頭離隔を確保する必要があることから、低床式鋼床版を採用し、T2～T4桁は、縦桁式鋼床版とした。またトラス桁部材の塗装種別は、高い耐候性を有するふっ素樹脂塗料を上塗に用いた塗装系を鉄道の新設橋梁において初めて採用することし、施工にあたっては、仕様を道路

橋塗装便覧(道路橋の塗装基準)とした。

4. 基礎工・下部工の施工

(1) 施工概要

基礎構造は、地質条件、近接する営業線への影響度、工期、残存支障物撤去工等を考慮し、PA1・A2橋台は場所打ち杭基礎(リバース工法)、P1～P4・P7・



図二 旧基礎撤去範囲



写真二 旧基礎撤去状況

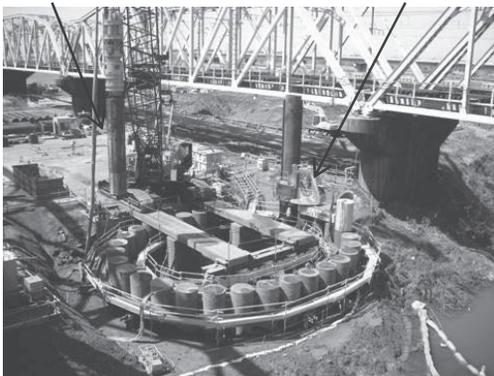
P8 橋脚は場所打ち杭基礎（オールケーシング工法）、流水部の P5・P6 橋脚は、仮締切兼用方式の鋼管矢板井筒基礎とした。基礎および橋脚躯体の施工範囲には、旧橋梁の基礎が残置されており、これらを効率的に撤去する工法として、はじめに支障する残存基礎に $\phi 2.0\text{ m}$ のケーシングを全周回転圧入機で支障範囲の下端まで先行圧入し、ケーシング内に油圧破碎機を挿入、ケーシング内面と破碎機を油圧により一体化、その後ケーシングを回転させ撤去部位を分離・排出する工法とした（図一2、写真一2）。

(2) 基礎工（流水部）

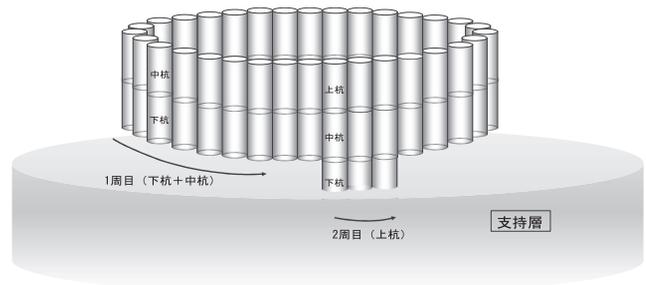
流水部橋脚の鋼管矢板井筒基礎工は、近接している既設橋脚への施工時の振動を最小限とするため、中掘りを併用した圧入工法とした。鋼管矢板打設開始時は、反力用として発進架台を設置し、打設時は、軽打ち（自沈）を行った後に圧入機で圧入した。鋼管矢板内の掘削は、中掘り装置（スクリュードリル）で行い、中掘り装置の先端は、鋼管矢板先端から 1.0 m 程度浅い位置までとし、掘削機が鋼管よりも突出することで地盤を乱すことのないよう細心の注意を払い施工した（写真一3）。支持層への圧入管理では、確実に支持力を発現させるため中掘りを併用せずに行い、サンプリングによる支持層確認と圧入時の負荷抵抗値を常時計測し、支持層に貫入したことを確認した。鋼管杭の先端処理は、支持層と一体化することを目的に、コンクリートを打設することとした。鋼管杭は支持層に 1D（D：鋼管径）以上根入れし、先端から 4D 以上の範囲にコンクリートを打設した。また、鋼管矢板井筒基礎の鉛直度を確保することと鋼管を精度良く閉合するため、打設は 2 周に分割し、1 周目に下杭と中杭、2 周目に上杭の順で打設した（図一3）。

底盤コンクリートは、 $150\text{ m}^2 \times 1.5\text{ m}$ （h）と施工面積、施工数量が多く、水中打設においての仕上がりが

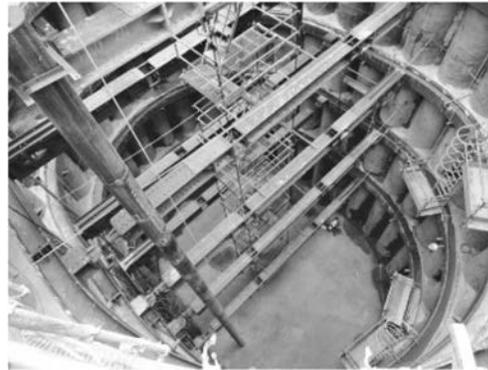
中掘装置（スクリュードリル） 鋼管矢板圧入機



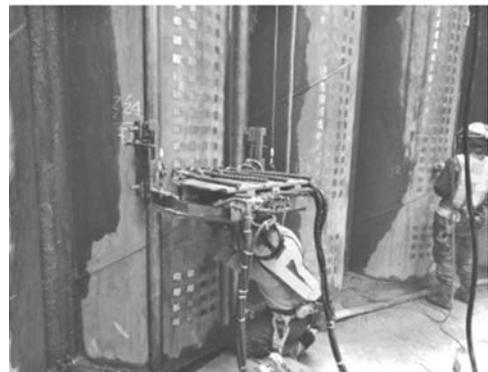
写真一3 施工状況（鋼管矢板圧入）



図一3 鋼管矢板打設順序



写真一4 鋼管井筒内支保工設置状況



写真一5 スタッドジベル溶接状況

面の平滑性要求に対する施工品質確認が困難であることを考慮し、水中不分離性コンクリートを採用した。底盤コンクリート打設後の井筒内ドライアップに際しては、底部の盤膨れ対策として、地下水位低下工法を実施した。また、井筒内の水位低下状況に応じて支保工を順次設置して施工を進めた（写真一4）。

鋼管矢板と橋脚躯体との接合は、スタッドジベル方式を採用し、溶接ガン本体は、ガイドポストを配置した高能率かつ溶接部の高い品質が確保できる自動4連スタッドガンを使用し施工した（写真一5）。品質管理は、施工前確認試験、曲げ試験を実施し、全溶接箇所に対するモニタリングデータの確認を実施した。

(3) 基礎工（高水敷き部）

基礎施工による近接する既設橋脚への影響を最小限

とするため、橋脚基礎はオールケーシング工法を採用し、橋台基礎は、施工ヤードがより狭隘となるため、リバース工法を採用した。杭長管理、杭偏心量管理の実施と、サンプリングによる支持層確認を事前の地質調査結果と比較しながら入念に実施した。

(4) 躯体コンクリート工

橋脚形状は、小判型壁式のマッシブな構造であるため、躯体コンクリートの温度ひび割れ防止を目的に、事前に温度応力解析を行った。解析では引張応力とコンクリート強度の比である「温度ひび割れ指数 Icr」を算出のうえ、コンクリートの水和熱上昇を抑制する配合・打設計画の検討を行い、セメント種別は中庸熱ポルトランドセメント、打設条件は、打設回数:3回、打設間隔:10日、打設後の天端マット養生期間:7日、養生期間の側面型枠を存置と定めた。施工時の留意点は、冬期打設でのコンクリート温度と外気温の差を最小限とするため、外気温が極端に低温となる時期（日平均気温が4℃を下回る1月～3月上旬）を避け、3月下旬からの打設となるよう工程を調整した。またコンクリート内部温度測定を行い、温度上昇下降傾向を把握し、適宜練炭による保温養生を行った。型枠存置期間は、強度発現に要する期間とコンクリート内部温度の下降傾向が緩やかに推移する期間を検討し、型枠脱型は約2週間を目途に実施した。さらに型枠脱型後は、乾燥収縮による初期変状防止を目的に、橋脚側面にポリフィルム巻き養生を約3週間行った。

5. 上部工の施工

(1) 施工概要

架設工法は、高水敷き部（PA1～P5、PB1～A2）においては、クローラークレーンベント架設工法、流水部（P5～PB1）においては、トラベラークレーン架設工法を採用することとした（図-4）。

(2) クローラークレーンベント架設

高水敷き部では、クローラークレーンベント工法により架設を行った（写真-6）。特に T1 桁架設では、県道との交差部が存在したため、道路管理者との協議により、県道の夜間通行止めにより架設を行った。県道にはベント設備を配置できないことから、下弦材2パネルを地組みし、ボルト本締めの上、一括架設した。



写真-6 架設状況（高水敷き部）

(3) トラベラークレーン架設

流水部（P5～PB1）においては、トラベラークレーンの張り出し工法により架設を行った（写真-7）。兩岸から2編成で架設し、P5-P6間の支間中央で閉合する計画とした。架設機材の編成は、架設用トラベラークレーン1基、材料荷上げ用トラベラークレーン1基、運搬台車1基をそれぞれ1編成とした。



写真-7 架設状況（流水部）

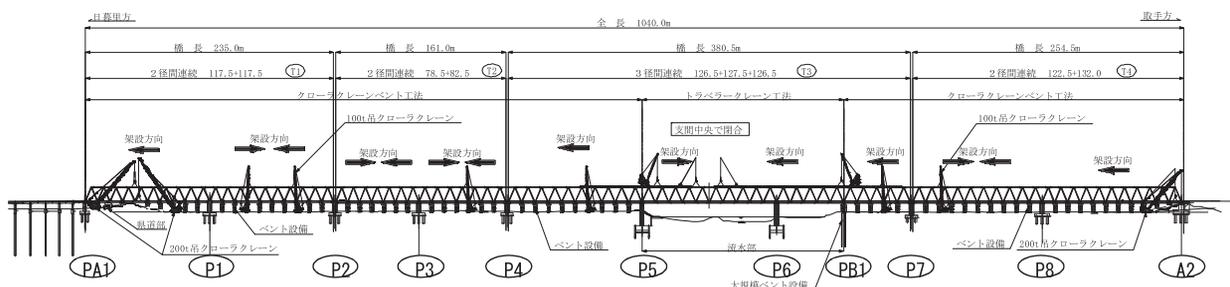


図-4 桁架設計画図

トラス部材の架設順序は、部材のたわみ等を考慮し、斜材→上弦材→斜材→下弦材→横桁→ボルト本締め→鋼床版架設→クレーン軌条設備設置→トラベラー・クレーン移動のサイクルで架設を行った。これは、下弦材の張り出し架設を先行して行った場合、添接部の耐力不足（ボルト本数不足）となるためである。

トラベラー・クレーン張り出し架設は、高力ボルトを本締めしながら架設を進めることから、架設後に桁のキャンバーを調整することが困難である。このため、設計キャンバー、桁自重、架設機材の載荷位置と重量から各施工段階の桁たわみ量を事前に算出し、架設時は各格点部でのたわみ量を確認、検証しつつ施工を進めた。最大の桁たわみが発生する P6 橋脚到達時は、このたわみ量を補うため、PB1 上で油圧ジャッキによる桁の上げ越しを行い、P6 橋脚へ到達させた。なお、PB1 から P6 橋脚に向けての架設では、P7 橋脚において 1 主構あたり最大で約 400kN のアップリフト力が作用するため、あらかじめ P7 橋脚にアンカーを埋め込み、アップリフト力に抵抗させた。P6 到達後は、P5・P6 間での両岸からの張り出し架設を行い、桁閉合部で両岸からの部材を計画通り噛み合わせるため、先端部材の高さが揃うように上げ越し量の微調整を行いながら施工を行った。その結果、各施工段階において、概ね想定通りの挙動で架設が進捗し、無事に桁を閉合させることができた。

6. 営業線近接に対する安全対策

本工事は、全長約 2.1 km にわたり左右を営業線に挟まれた近接施工であり、施工にあたってはあらゆるリスクを抽出し、安全対策を実施してきた。新設橋脚の施工中は直近に位置する既設橋脚の変位量（沈下・傾斜）を常時監視するとともに、場所打ち杭施工では泥水位観測・孔壁監視および橋台部での仮設工事桁使用時の軌道変位常時監視などの対策を実施し、営業線

への影響を一元管理できるシステムを構築し施工を進めた。また大型重機の使用にあたっては、建築限界を支障させないための対策として、レーザーバリアシステム（レーザー光を鉛直方向へ面状に照射し、レーザー光を遮断する物体を検知した場合に警報通知するシステム）を施工範囲と営業線範囲間に設置し、列車の安全運行に特段の配慮を行い、大規模工事を無事故で完遂させた（図—5）。

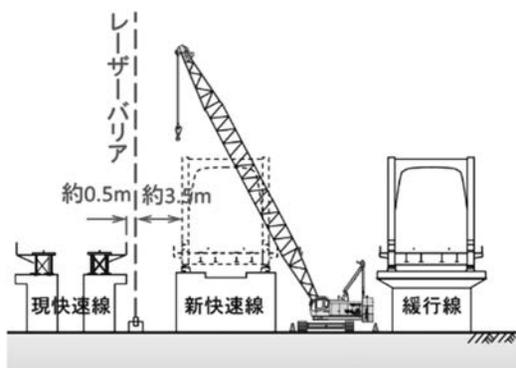
7. 線路切換工事

(1) 切換工事の概要

線路切換工事は、上り線 2013 年 12 月 7 日～8 日、下り線 2014 年 11 月 8 日～9 日にかけて実施した。切換当夜は、線路移動、分岐器撤去・新設、軌道こう上、路盤構築等を行った。分岐器撤去・新設においては、これまで分岐器交換で実績が多い 50t 軌陸クレーン 2 台による合吊りで施工を行った。軌道こう上は、施工可能な範囲を事前に行い、切換当夜の施工時間短縮を図った。またホーム部の線路移動に伴い、上り線切換では、最大 1.5m のホーム拡幅を実施し、下り線切換では、ホームを事前切削し、切換工事に備えた。

(2) 軌道こう上

起点方の線路切換部においては、現在線と新線のレールレベル差が約 600 mm あり、現在線の軌道をこう上させる必要があった（延長約 270 m）。軌道こう上を切換当日に実施することは、施工に多くの時間を要することから、軌道こう上作業を事前に行う計画とした。施工方法は、MTT（マルチプルタイタンパー）による絶対基準工法を採用し、1 回あたりのこう上量は、MTT の施工能力と軌道の初期沈下量を考慮して最大で 100 mm 程度とし、計 6 回の軌道こう上を行った。なお、施工時期がレール温度上昇期に近かったため、レール張り出し事故防止対策にも配慮し、事前の



図—5 レーザーバリアシステム設置状況



写真—8 MTT 編成群による軌道こう上状況

座屈防止板の設置，軌道こう上時のバラストレギュレーターを用いた道床整理，サイドコンパクターによる道床締め固めを実施した（写真－8）。

（3）各種リハーサル

起点方切換部における線路移動延長は最大で312m（下り線切換工事）と長く，本工事で最も時間を要する作業であった。その中でも線路移動後の道床補充時間の比率が高かったため，軌陸ダンプ20台により碎石を運搬・補充する計画とし，作業の効率化を図った。軌陸ダンプの移動および碎石取り降り作業を安全かつ効率的に行うため，軌道工事管理者から各重機の誘導員への指揮命令系統を確立し，当夜に従事する軌道工事管理者・軌陸ダンプオペレーター・誘導員で実機を用いたリハーサルを実施した。

終点方切換部における線路移動作業は，起点方切換部と比べて施工延長は短い，接続箇所が多いことに加え，線路移動方法が複雑であること，軌道低下を伴う特殊な作業，さらには50t軌陸クレーンと競合しながらの作業となり，作業が非常に輻輳する状況であった。作業量に比例し，作業員が狭隘な箇所に密集することが想定されたので，保守基地線での線路移動リハーサルや，各作業班の線路立入りから退出までの作業の流れを実際に従事する全作業員に現地で周知した。特に取手駅構内の分岐器撤去・挿入作業は，他の作業工程に大きく影響することから，線路切換工事において最も重要な作業であった（図－6）。したがって，上り線，下り線ともに各2回50t軌陸クレーンを使用したリハーサルを行い，下記項目を確認した。

- ・50t軌陸クレーンアウトリガー設置・旋回確認
- ・軌陸車（ダンプ・クレーン）の配置
- ・モーター付き分岐器の吊り上げ可否
- ・作業手順（分岐器挿入時の確認事項等）

（4）線路切換の施工実績

上り線および下り線の線路切換工事は，事前施工可能な作業の洗い出しとその実施，各種リハーサルと工事関係者への周知会の実施，綿密な調整による軌道・土木・電気系統間の作業引き渡し条件の明確化と対面による責任者間のベアリングの実施など，万全な事前準備をした結果，計画通り完遂した（写真－9）。

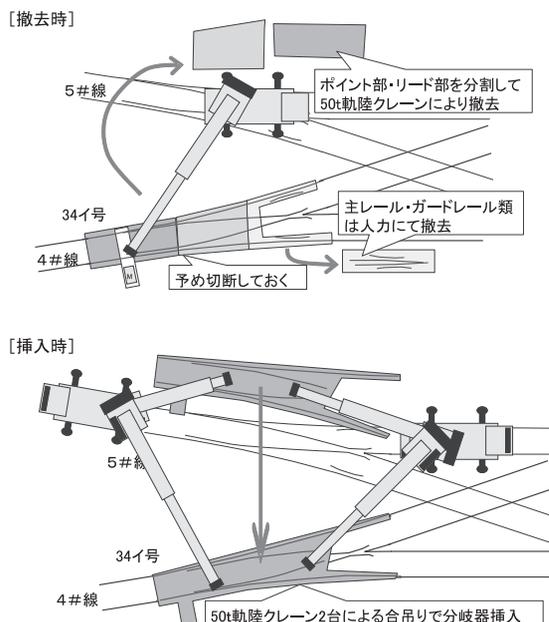


写真－9 50t軌陸クレーン合吊りによる分岐器挿入状況

8. メンテナンスに対する配慮

本橋梁は，将来のメンテナンスの省力化を図る構造を採用した。桁構造は，メンテナンス性に配慮し，耐疲労性の高い縦桁式鋼床版トラス橋を採用，設計耐用年数100年を先取りした設計を行った。塗装には高い耐候性を有するふっ素系塗装を当社として初めて採用し，塗膜の長寿命化を図っている。

軌道構造は，騒音・振動の低減効果をもち，メンテナンスコストを大幅に低減できる弾性バラスト軌道を採用した（図－7）。弾性バラスト軌道を鋼床版へ適用するにあたって，軌道に生じる水平力に抵抗できる横圧金具を鋼床版上へ設置している。また，レールはロングレールとしており，桁の伸縮およびレールに作用する軸力に応じてレール長を設計した。その他，電車線については，インテグレート架線，取手構内の配線変更に伴う分岐器の新設については，軌道変位が生じにくいグリットマクラギとトングレールの摩擦抵抗を低減させるベアリング床板を組み込んだ次世代分岐器を配置し，今後のメンテナンスに配慮した構造とした。加えて橋梁の高欄に防風機能を付加した自社開発のFRP製防風柵を設置し，列車運行に対する風対策



図－6 分岐器撤去・挿入方法

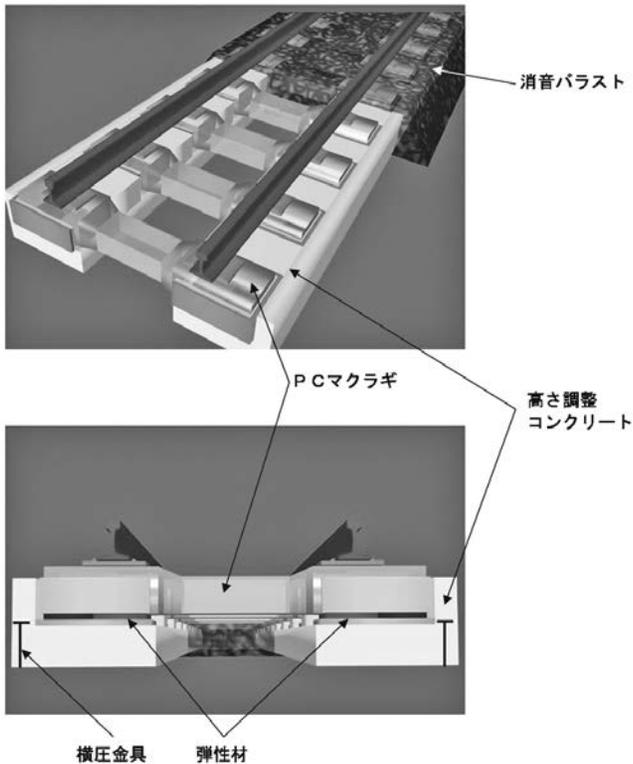


図-7 弾性バラスト軌道の構造

を兼ねた構造とした。

9. おわりに

2009年（平成21年）11月の着工から5年の歳月を経て、橋梁新設工事の全施工が完了した。2013年（平成25年）12月には上り線，2014年（平成26年）11月には下り線の線路切換工事を実施し，現在新橋梁は上下線ともに使用開始している（写真-10）。



写真-10 施工完了後



写真-11 撤去工事施工状況 (H28.1月現在)

現在は，旧橋梁の撤去工事に着手しており，上部工の撤去が完了し，下部工の撤去工事を鋭意進めている。今後も列車の安全で安定した輸送を確保することを最優先に工事を進めていく所存である（写真-11）。

JICMA

〈参考文献〉

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・杭土圧構造物，2000.6
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.10
- 3) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造物編，2002.3
- 4) 佐々木昭悟，吉田聖浩，吉川正治，工藤伸司，楠田広和，梅本喜久；長大鋼鉄道トラス橋の設計・製作，橋梁と基礎，2012.3
- 5) 斎藤聡，佐々木昭悟；常磐快速線利根川橋梁改良工事，JSSC，2015. SUMMER No.22

〔筆者紹介〕



佐々木 昭悟（ささき しょうご）
東日本旅客鉄道㈱
東京支社 施設部工事課
主席



斎藤 聡（さいとう あきら）
東日本旅客鉄道㈱
東京支社 施設部工事課
担当課長



成嶋 健一（なるしま けんいち）
東日本旅客鉄道㈱
東京支社 施設部工事課
副課長