特集≫≫　維持管理・老朽化対策・リニューアル

PC ゲルバー橋の連続化
首都高速 1 号羽田線　勝島地区橋梁

花　房　禎三郎・相　川　智　彦・高　島　秀　和

本橋梁は昭和 39 年の東京オリンピックに向けて建設された，都心と羽田空港を結ぶ首都高速 1 号羽田線勝島地区のゲルバーヒンジを有する 3 径間連続 PC 箱桁橋であり，供用から 50 年以上が経過していた。

近年の定期点検において，ゲルバー部にひび割れや支承の腐食等の損傷が確認された。このため，ゲルバー部の長期耐久性，橋梁全体の耐震性および維持管理性の向上を目的として，ゲルバー部の遊間をモルタルで充填し外ケーブル緊張により連続一体化を図った。連続化端部は，新設橋脚を設置してゲルバー部の反力を受替えてゲルバー構造を解消した。このような組合せによるゲルバー構造改良は，これまでにない手法であり，本稿ではこの改築工事について報告を行う。

キーワード：首都高速道路，プレストレストコンクリート橋，ゲルバー連続化，維持管理

1. はじめに

本橋は，首都高速 1 号羽田線の勝島地区に位置する（**図**―1）ゲルバーヒンジを有する PC 連続箱桁橋である。1963 年の供用開始から 50 年以上が経過しており，ゲルバー部に経年劣化等による損傷が確認されていた。このためゲルバー部を含めた橋梁全体の性能向上のため改良工事が計画された。

ゲルバー部は外ケーブルによって連続化を図ることとしたが，すべての径間を連続化することは設計上困難である。このため適正な連続化範囲を超える箇所については下部工を新設し，ゲルバー沓の反力を受替え後，ゲルバー沓を切断し構造的に分離することとした。本稿では，本工事の大きな特徴である供用しながらゲルバー部の連続化および分離を行った設計・施工について報告する。

図―1　位置図

2. 概要

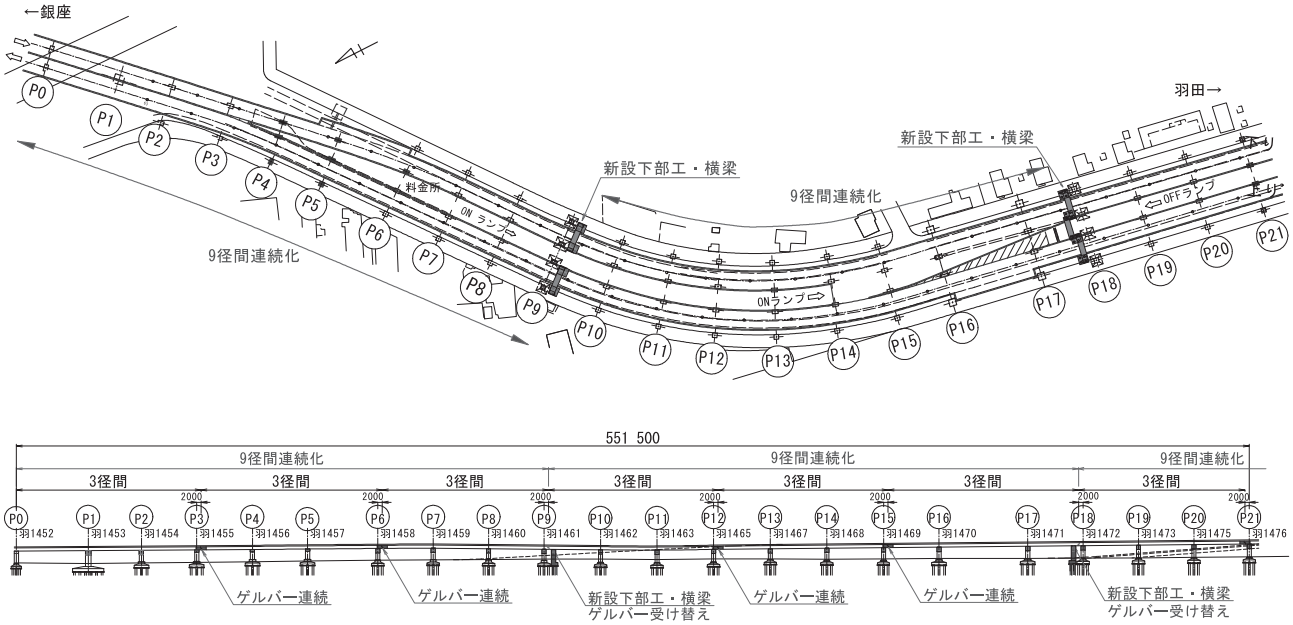
(1) 既設橋梁および損傷概要

本橋は，3 径間連続 PC 連続箱桁橋がゲルバーヒンジにより複数連続する高架橋であり，上下線間に勝島入口・出口がある複雑な平面線形を有している（**図**―2）。上部工断面は 2 室箱桁断面であり，都道上に位置するため主桁と一体化した横梁を介して橋脚で支持される馬桁構造となっている（**写真**―1）。

定期点検によって，一部のゲルバー部コンクリートにひび割れや剥離等の損傷が確認されていた（**写真**―2）。ゲルバー部受桁のひび割れは，支承を固定しているアンカー付近から垂直方向に伸びていた。損傷原因として，①交通荷重の増，②橋面からの漏水による鋼製支承の腐食による支承移動機能の低下，③コンクリートの経年劣化，等が挙げられる。

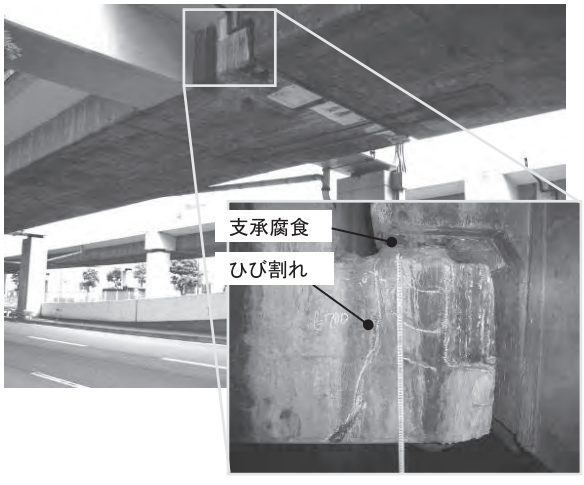
(2) 設計概要

維持管理が困難なゲルバー部の構造改良を含めた橋梁全体の耐久性・耐震性向上を目的としてゲルバー部の連続化を図ることとした。3 径間毎にゲルバーヒンジを有する橋梁の連続化範囲は連続化後の主桁応力や常時移動量，新設橋脚を設置可能な位置，等を検討して 9 径間連続とした。本工事では他に連続化後の耐震



図―２　橋梁全体図（連続化概要）

写真―１　現地橋梁（補強前）



写真―２　ゲルバー部の損傷

設計により，支承取替や下部工の再補強を行っている。設計では現地状態を反映した他，施工方法や順序に合わせて施工時検討を行った。ゲルバー連続化のメリットとして，耐震性の向上，維持管理の容易化，伸縮装置減による車両走行性の向上や騒音の低減，が挙げられる。

橋梁諸元を以下に示す。

構造形式

上部構造　既　設：3 径間連続 PC ゲルバー箱桁橋 × 12 連（上下線合計）

改築後：9 径間連続 PC 箱桁橋× 4 連（上下線合計）

下部構造（新設）：RC 橋脚 + PC 横梁

（基礎）：場所打ち杭

橋長：476.5 m（最大支間長 40 m）　有効幅員：7.5 m

(3) 工事概要

本橋は，都道 316 号海岸通り直上に位置する高架橋である。首都高速 1 号羽田線は都心と羽田・横浜へのアクセスを担う重要路線であることから本線を供用しながら，また片側 3 車線の都道は 1 車線の常設規制帯を歩道側，中分側の 2 期に分けて設置し 2 車線を常時供用しながら施工した。

工事概要を以下に示す。

所在地：東京都品川区勝島 1 丁目

発注者：首都高速道路㈱

請負者：㈱ピーエス三菱（実施設計含む）

工期：自）平成 22 年 5 月 1 日

至）平成 28 年 3 月 19 日

実施工種：支承取替工，主桁補強工，炭素繊維シート工，新設下部工（基礎工・橋脚工），横梁設置工，橋脚補強工，剥落防止対策工，他。工種の概要を**表―１**に示す。

主要な施工方法

上部工：外ケーブル工法，炭素繊維シート工法，ウォータージェット工法

下部工：リバース工法（基礎），ベント工法（支承取替）

表―１　主要工種概要

主要工種	概　要
支承取替工	既設全 71 基をゴム支承に取替え
主桁補強工	外ケーブルによる 9 径間連続化
炭素繊維シート工	主桁の曲げ・せん断補強
新設下部工	8 橋脚（単柱式・杭基礎）を新設
横梁設置工	反力受替えのための横梁の新設
橋脚補強工	既設 7 橋脚の鋼板巻立てを再補強
剥落防止対策工	剥落防止の実施（既設・新設部）

3. 主要工種の設計および施工

(1) 支承取替工の設計・施工

既設支承は，経年劣化による腐食が進行しており，全ての既設鋼製支承を連続化後の耐震設計を満足するタイプＢゴム支承へ取替えることとした。支承取替えはゲルバー連続化前に全て実施した。

施工は，都道の片側 3 車線のうち 1 車線の規制帯内に設置したベント支柱により上部工反力を受替えた状態で行った。受け替える反力は最大で 5000 kN を超え，ベント支持位置の地盤沈下が懸念された。このため地盤の支持力や空隙調査の上，ベント位置にベースコンクリートを打設した。さらに，事前に仮ジャッキアップによるプレロードを行い，沈下量が収束し安全性を確認してから本施工を行った。ベント支持後，ワイヤーソーにより既設橋脚の脚頭部を新設支承アンカーボルト位置で切断・撤去し，新設支承設置後，切断した橋脚鉛直鉄筋をエンクローズ溶接で接続し脚頭部を復旧した。支承取替後の状態を**写真―３**に示す。

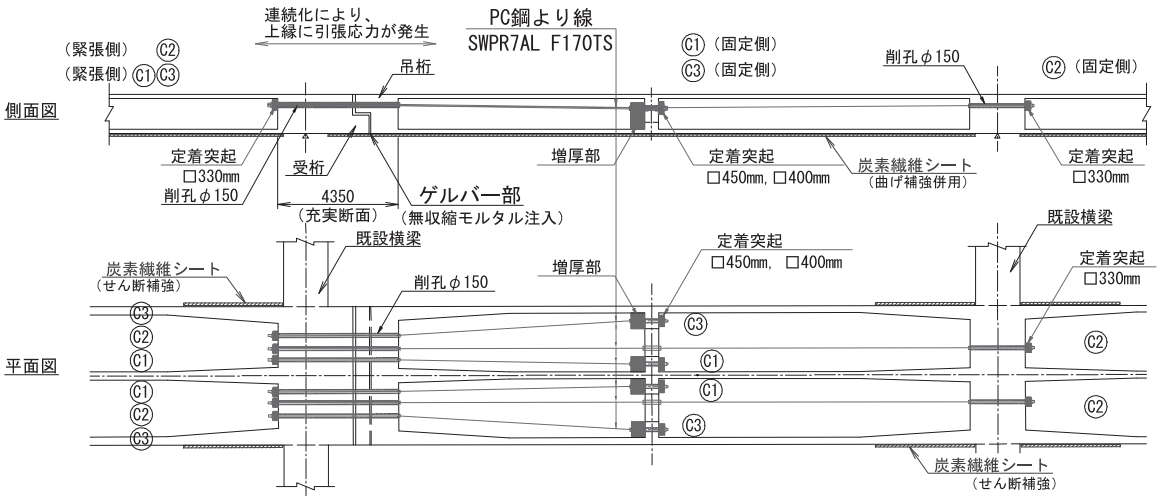
写真―３　支承取替後（剥落防止対策工前）

(2) 主桁補強工・炭素繊維シート工の設計・施工

(a) 補強概要

ゲルバー連続部の外ケーブル配置および炭素繊維シート補強の一例を**図―３**に示す。本橋では馬桁構造のため外ケーブルは全て桁内に配置した。

桁連続化による構造系変化によって，ゲルバーヒンジ付近の上縁には引張応力が発生する。この引張応力に対して，活荷重および温度荷重時を満足するよう外ケーブルを配置した。使用する外ケーブルは，定着時のセットロスの無いナット式定着タイプとした。また，箱桁内の作業スペースおよび削孔による既設への影響を考慮して 170 t ケーブルを，1 室あたり 3 本までの配置とした。下縁の引張応力に対しては，限られた外ケーブル配置条件の中，配置を検討した結果，温度荷重時と曲げ破壊時に対しては外ケーブルで許容値を満足しない箇所は床版下面の炭素繊維シート補強と併用することとした。せん断耐力が不足する箇所に対



図―３　ゲルバー連続部補強概要図

しては，ウェブ側面に炭素繊維シートによるせん断補強を行った。

（b）ゲルバー遊間部

ゲルバー遊間部は建設時と伸縮装置取替時の目地材やコンクリートの付着，土砂の堆積等があるため清掃が必要であった。異物の確実な除去が必要なため，ウォータージェットによる清掃を行った。清掃は吊り足場や橋面上に水漏れがないよう完全養生した上で行った。

遊間の充填は，上床版下付近までは充填状況を目視で確認できるよう透明型枠を使用して無収縮モルタルで行った。その後，伸縮装置撤去時に残りの上床版部を，超早硬コンクリートを使用して2段階で充填を実施している。この上床版施工時は首都高速を片側ずつ車線規制して行った。

（c）外ケーブル配置・緊張

箱桁内の外ケーブル設置のために，既設横桁を橋軸方向に貫通削孔する必要があった。特にゲルバー横桁部はPC構造であり，PC鋼材が配置されている他，ゲルバー補強鉄筋が密に配筋されている場所であり，また横桁厚さが4350 mmと厚く，すべての鋼材を事前に非破壊検査で探査することは不可能であった。設計では既設PC鋼材と干渉しないことを優先して外ケーブル配置を決定するが，鉄筋との干渉を完全に避けることはできない状況であった。このため施工は，鉄筋，PC鋼材を傷つけることなく削孔が可能なウォータージェット工法を採用した。貫通削孔後，干渉する鉄筋本数を確認して事前に検討した切断可能本数以下の最小限の鉄筋を切断した。

供用しながらのゲルバー部削孔であり，既設に対し可能な限り負荷がかからないように施工上考慮した。このため，桁内（最大3本/1室）全ての外ケーブルを削孔･配置するのではなく，先行して1本分を削孔･配置することで早期にプレストレスを導入し，切断した鉄筋の補強とするとともに遊間充填後の温度変化による目開きを防止する配慮をしている。

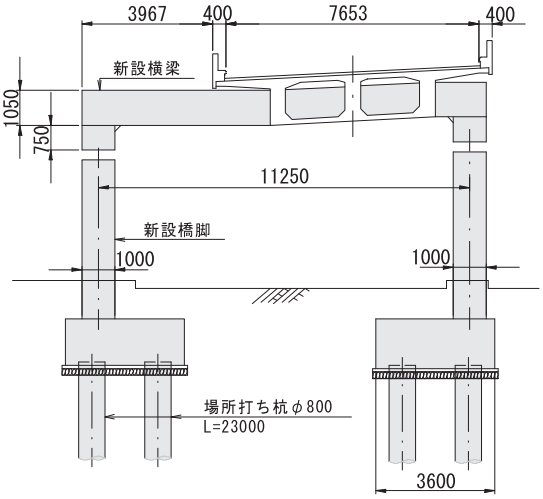
（d）外ケーブル定着部

外ケーブル定着は既設の支点横桁と中間横桁を利用して行うが，中間横桁は薄いためコンクリート増厚による補強を行った。増厚形状はFEM解析によってコンクリートの引張強度以下となる様に決定した。定着部には支圧応力の緩和と定着部補強筋の配置のため定着突起を設置した。箱桁内の外ケーブル配置状況を**写真―4**に示す。

写真―4　桁内外ケーブル配置

(3) 新設下部工・横梁設置工の設計・施工

9径間連続化端部のゲルバー部は，ゲルバー沓を切断し構造的に分離する。分離したゲルバーヒンジの吊桁側に新たに支点が必要となることから，既存の構造と同様に横梁を介して上部工を支持するため横梁と下部工を新設した。**図―4**にP9橋脚の新設橋脚・横梁構造図を示す。



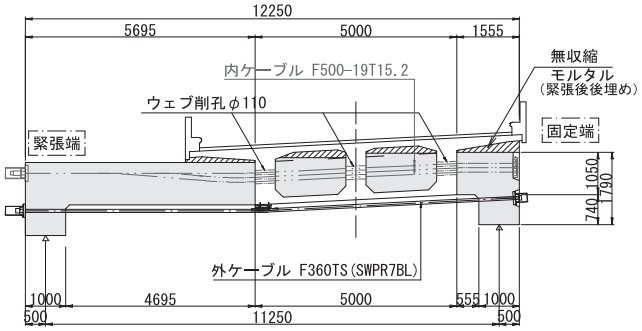
図―4　新設橋脚・横梁構造図（P9橋脚）

（a）新設下部工

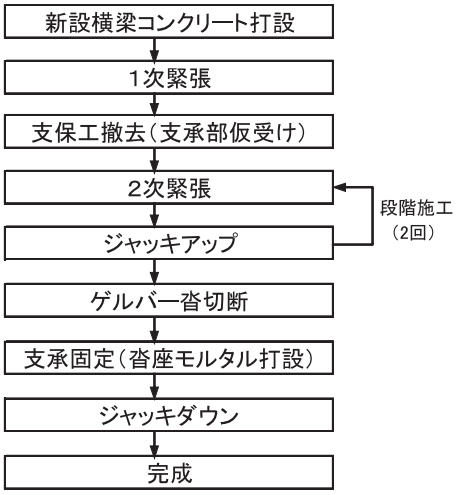
新設橋脚はRC単柱橋脚で，基礎は場所打ち杭である。上空に既設上部工があることから場所打ち杭は施工時の空頭制限を考慮してリバース工法の1つであるTBH工法を採用した。施工中は鋼矢板による土留めを行ったが，既設橋脚との近接施工であることから矢板の変位に異常がないか日々確認しながら施工した。

（b）横梁設置工

新設横梁は既設主桁ウェブを貫通する内ケーブルの他に，横梁下面に配置する外ケーブルを併用したPC構造とした。これは内ケーブルのみでは主桁下床版があるためケーブル偏心量がとれず多量のプレストレス



図―５　新設横梁鋼材配置（P9 橋脚）



図―６　新設横梁施工フロー

が必要となり，既設の主桁内ケーブルを避けてウェブに必要な本数分の削孔が困難であるためである。この外ケーブルの配置にあたっては施工時の支保工と都道との建築限界を確認して決定した。**図―５**に新設横梁 PC 鋼材配置を示す。

新設横梁の施工は，限られた規制帯内で施工空間も狭く施工条件が厳しいため，施工方法や施工順序に特に配慮する必要があった。新設横梁脚の施工フローを**図―６**に示し，以下に概要を説明する。

①横梁コンクリート打設・1 次緊張

新設横梁は梁式支保工により場所打ちで施工する。新設横梁下面に配置する外ケーブルは，先に配線すると梁式支保工と干渉し解体ができなくなるため，干渉しない外側 2 本の外ケーブルを先行して緊張した（1 次緊張）。この 1 次緊張により横梁自重と活荷重を負担できる緊張力が導入されるため，型枠・支保工の解体が可能となる。なお，新設横梁のコンクリートは，桁内の作業空間が狭小であり，バイブレータによる締固めが困難なため高流動コンクリートを用いた。

②支保工撤去・支承部ジャッキ仮受け

支保工撤去により，支保工反力は新設橋脚に移行する。新設橋脚上には仮受けジャッキを設置しており，ここで反力を支持する。この仮受けジャッキにより，この後のゲルバー沓の切断時のジャッキアップおよび高さ調整を行う。このためこの段階では，新設橋脚上の支承は設置しているが支承下面アンカーボルトは固定していない状態としている。

③2 次緊張・ジャッキアップ・ゲルバー沓切断

ゲルバー沓の切断はワイヤーソーで行うが，ゲルバー沓切断時はゲルバー沓に反力がかからない状態で行う必要がある。このため仮受けジャッキのジャッキアップによりゲルバー沓の反力を新設横梁に完全に移行した状態で，1 ゲルバー沓切断→2 支承固定→3 ジャッキダウン，の順番にゲルバー部の上部工反力を新設支承へ受け替えた。

ジャッキアップにより新設横梁に反力が移行し，断面力が増加するため，ジャッキアップに合わせて新設横梁下面の残りの外ケーブルの緊張を行った（2 次緊張）。

これは新設横梁の PC 鋼材は，全ての反力が新設横梁へ移行した後の完成形に対して配置している。このためゲルバー沓が反力を負担し新設横梁に全ての荷重がかからない状態で全て緊張を行うと，過大なプレストレスにより上縁に大きな引張応力が発生することが想定された。このため，ジャッキアップを 2 回に分け反力の移行を段階的に行い，これに合わせ 2 次緊張の緊張力も 2 回に分けて導入することとした。

（c）反力の確認

ジャッキアップの反力は，以下の影響により，設計値と異なることが想定された。

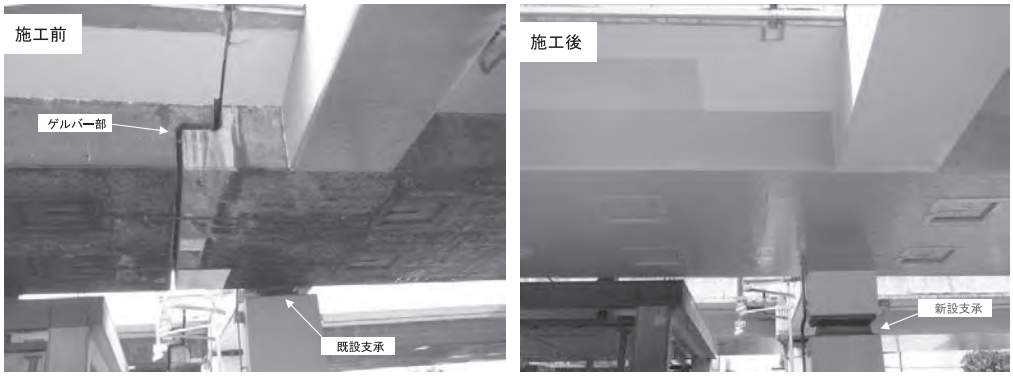
・死荷重の誤差（設計荷重の誤差，支点沈下による既設反力の変動の影響）
・ジャッキアップ時の橋面車両の影響，等

本工程は供用しながらの反力受替えであり，確実な施工管理が求められた。このため，新設横梁の設計から許容する反力の範囲を事前に算出し，ジャッキアップ時の反力がその間に収まることを計測で確認することとした。なお反力が想定以上となった場合は，外ケーブルを再緊張する事で対応する計画であった。

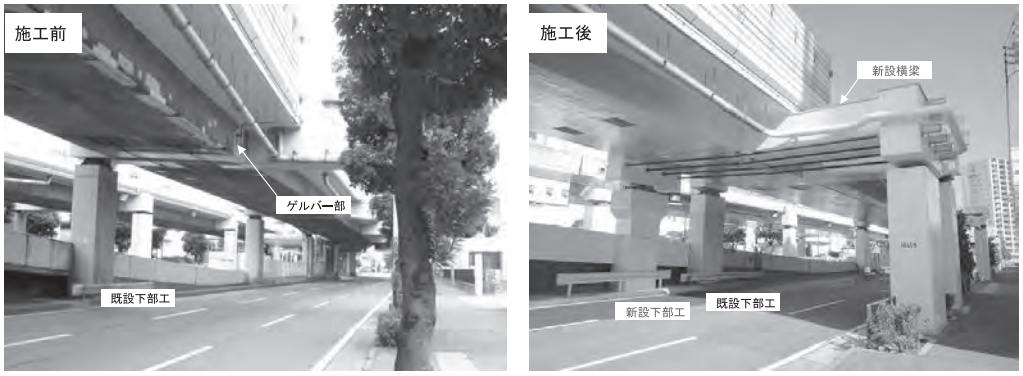
P9 下り線施工時の反力の計測結果を**表―２**に示

表―２　各ステップのジャッキ反力値（単位：kN）

	歩道側	中分側	合計
1）1 次緊張後	375	482	858
2）支保工ジャッキダウン後	450	492	942
3）2 次緊張後	607	693	1300
4）最終反力（ジャッキダウン前）	893	1421	2314
設計反力（ジャッキダウン前）	850	1400	2250



写真―５　P9 下りゲルバー連続部施工前後



写真―６　P9 下りゲルバー分離部施工前後

す。各ステップで反力の移行が確認し，最終のジャッキダウン前の反力および左右の比率についてもほぼ設計値通りであった。なお，この反力値は想定の範囲内であったため外ケーブル再緊張は行わなかった。

(4) ゲルバー連続化の検証

本工事では首都高速道路技術センターにより，連続化前と後にそれぞれ 25 t 荷重車を走行させ，ひずみゲージによる計測を実施した。計測値を FEM 解析と比較し，連続化後は連続桁としての挙動をしていることを確認・検証した。

4. おわりに

写真―５，６にゲルバー連続化，分離部の施工前・施工後写真を示す。平成 28 年 3 月に，5 年 10 か月に及んだ工事は無事故でしゅん功した。ゲルバー部の連続化，分離が主要な工種であったが，これに伴う複数の工種の施工が並行して進められ，また桁内と桁下空間が狭く，街路と高速本線を供用させた状態での施工となったことから，工程管理が非常に重要な工事であった。

本工事は，維持管理が困難であったゲルバー構造を解消するため，連続化すると同時に下部工を新設し，これにゲルバー反力を受け替えるという手法を実施した。このような組み合わせによるゲルバー改良は，これまでにない手法であり，本工事が今後の同種 PC ゲルバー橋の補修･補強工事の一助となれば幸いである。

JCMA

［筆者紹介］

花房　禎三郎（はなふさ　ていざぶろう）
㈱ピーエス三菱
東京土木支店　土木技術部
グループリーダー

相川　智彦（あいかわ　ともひこ）
首都高速道路㈱
東京西局　保全管理課
課長

高島　秀和（たかしま　ひでかず）
㈱ピーエス三菱
東京土木支店　土木工事部
工事所長