

論文・報告

都市高速におけるPCゲルバー橋連続化工事の設計・施工

～大規模修繕工事の実施例～

Large Scale Repair Construction of Gerber Beam PC Bridge

山岸 俊一 *1

Toshikazu YAMAGISHI

椎名 栄次郎 *2

Eijiro SHIINA

柴崎 剛 *3

Tsuyoshi SHIBASAKI

吉松 秀和 *4

Hidekazu YOSHIMATSU

國武 剛 *5

Tsuyoshi KUNITAKE

塩井 健太 *6

Kenta SHIOI

高速1号羽田線勝島地区は1963年に供用され50年以上経過しており、2007年の定期点検ではPC桁ゲルバー部のひび割れおよび支承の腐食等が多数発見された。構造物の損傷が進んでいたため、構造物の長寿命化を図る目的で損傷状況の現地調査を行った結果、支承アンカーの腐食によりゲルバー部PC定着部の後打ちコンクリートの劣化や支承の機能低下が推測された。そこで、耐久性および耐震性を向上させるためにゲルバー部の連続化ならびに付随する各種耐震補強等（支承取替、橋脚・横梁の新設、橋脚補強、上部工補強）を実施している。本稿では、連続化および各種耐震補強の概要と特徴、試験施工を踏まえた施工方法などについて報告する。

キーワード：ゲルバー橋、連続化、外ケーブル、支承取替、耐震補強

1. はじめに

首都高速1号羽田線の勝島地区は、大井競馬場に隣接した海岸通り街路直上に建設された2～3径間連続のPCゲルバー橋であり、主桁と一体化した横梁を橋脚で支持する構造である（写真1）（図1）。当該区間は首都高速道路の中でも最初に建設を着手した区間であり、1963年（昭和38年）の供用開始から50年以上経過している。

2007年（平成19年）までに実施された定期点検によって、勝島地区のPC桁ゲルバー部に局部的に大きなひび割れ（最大ひび割れ幅3.0mm）が確認され、支承の腐食やコンクリートの劣化、剥離等も著しい状態であった。これらの損傷原因として、橋面上から伸縮装置を伝わったゲルバー部遊間への漏水、支承機能の低下（固着により可動支承が固定支承に変化）、PC定着部の後打ちコンクリートの劣化などが挙げられた。これらは建設時の不具合ではなく経年的な劣化と考えられた。こうした状況を抜本的に改善し、耐久性および耐震性を向上させるために2010年よりゲルバー部の桁連続化およびこれに伴う支承取替、橋脚・横梁の新設、橋脚補強、上部工補強（外ケーブル・炭素繊維シート）等の工事を実施した¹⁾～²⁾。また、特殊な施工方法については、事前に試験施工等を行い妥当性や安全性を確認した上で採用した。

本稿では、これらの概要・特徴および施工方法について報告する。



写真1 位置図

*1 川田建設(株)東日本統括支店技術企画室 部長

*2 川田建設(株)東日本統括支店事業推進部工事課 総括工事長

*3 川田建設(株)東日本統括支店事業推進部技術課 課長

*4 川田建設(株)技術部技術課 課長代理

*5 川田建設(株)東日本統括支店事業推進部工事課 工事長

*6 川田建設(株)技術部技術開発課

2. 工事概要

路線名：高速1号羽田線

位置：東京都品川区勝島二丁目他

事業主：首都高速道路株式会社 東京西局

橋長（連続化後）：225 m, 150 m, 143.8 m

設計荷重：B活荷重

工事名：(改) 支承・連結装置耐震性向上工事 1-108

工期：2010年5月1日～2016年6月27日

工種：支承取替 55 基, 新設橋脚 5 基, 新設横梁 2 基,

炭素繊維シート補強 5 872 m², 橋脚補強 27 基, 橋脚基部補強 32 基, 剥落防止 2 568 m²ほか

工事名：(修) 構造物改良工事 1-203

工期：2015年6月26日～2018年3月11日

工種：外ケーブル補強 20 径間, 床版連結 26 レーン,

支承取替 8 基, 炭素繊維シート補強 1100 m²ほか

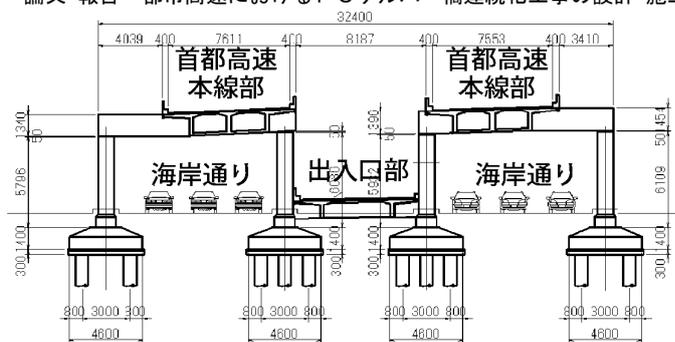
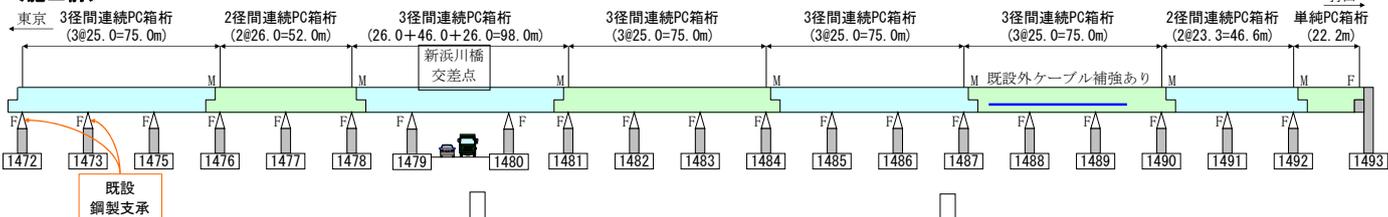


図1 PC箱桁断面図

既設橋は2径間および3径間連続のPCゲルバー箱桁橋で、かけ違い部はゲルバー構造として荷重を受け渡していた。ゲルバー部は可動支承、中間支点部は地震荷重などを各橋脚に分散する特殊支承が採用されていた。主桁断面構造は2室箱桁断面で、橋脚は単柱形式で1997年に発生した兵庫県南部地震後に鋼板巻立橋脚補強が実施済みである。

<施工前>



<施工後>

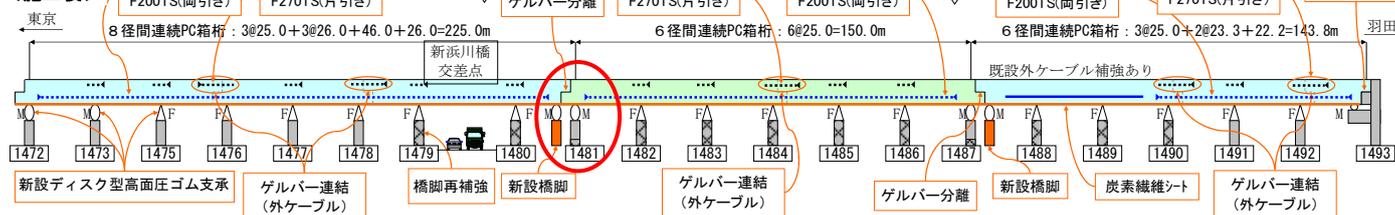


図2 橋梁全体側面図

3. 設計概要

供用後約50年以上が経過し、構造上の弱点となっているゲルバー部はひび割れが生じるなど著しい損傷があった。また、支承の損傷も著しいが、ゲルバー部はその構造により支承の交換が困難であり、取替が課題であった。さらに、ゲルバー部にはPC鋼線定着部が存在することから、ゲルバー部自体の構造改良が困難であった。以上のことから、以下に示す設計方針で対策することとした。

(1) 既設ゲルバーの改良方針

抜本的な対策として、ゲルバー部に荷重をかけない構造とする方針で、既設ゲルバー部を外ケーブル工法により連続一体化させ、長期耐久性の確保を図ることとした。

ただし、すべての径間を連続化すると既設橋脚の耐荷力を大幅に超えるため、連続化可能な範囲を定め、連続化を行わない掛け違い箇所を定めた(図2の○印)。掛け違い箇所については、橋脚及び横梁を増設することで主桁を直接支持し、ゲルバー支承を切断することで既設ゲルバー部を無応力化することとした(写真2)³⁾。



写真2 新設横梁・新設下部工 完成写真

(2) PC桁の連続化

桁連続化は、ゲルバー遊間を無収縮モルタルで間詰し、外ケーブルを緊張することで行った。外ケーブル補強のケーブルは、既設橋の構造特性・付属施設の配置・桁下街路の建築限界・景観上の観点から、上部工桁内に配置

した。(外ケーブルは、後述の上部工補強を兼ねている)

(3) 上部工補強

既設上部工は、現行基準のB活荷重に対応する必要があり、さらにゲルバー部の連続化による構造系の変化に対応する必要があった。これらの対応として、設計手法が明確かつ施工性、経済性の観点から、外ケーブル工法を主体とした補強方法を採用した。しかし、外ケーブルのみの場合は大容量ケーブルが必要となり、定着方法や施工実現性の問題が想定されたため、外ケーブル補強に加えて炭素繊維シート補強を併用することとした。また、桁のせん断補強については、桁内外ケーブル補強では大きな効果が期待できないため、炭素繊維シート補強が主体になっている。なお、応力度算定には既設構造系から連続化した構造系に移行するステップも考慮した。

外ケーブル補強の定着突起については、FEM解析を用いコンクリートの許容引張応力以下となるよう寸法を決定している(図3)。

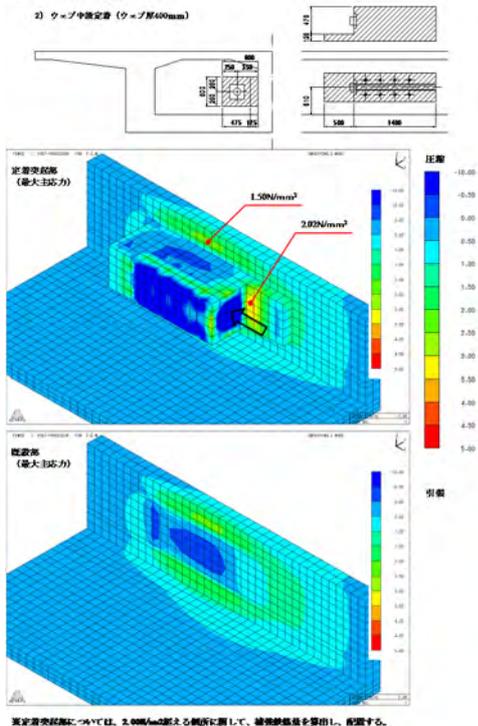


図3 定着突起のFEM解析

(4) 耐震補強設計

既設橋は、1997年に発生した兵庫県南部地震後に橋脚耐震補強(鋼板巻立工法)が実施済みであるが、桁連続化により橋梁全体の構造系が変化することから、立体モデルによる非線形動的解析によりレベル2の耐震設計を実施した(図4)。

解析結果から所定の耐力が確保できない橋脚は、既設鋼板を剥がして新しい鋼板巻立てによる再補強を行うこととし、立体モデル非線形動的解析にて繰返シトライアル計算を行い、再補強橋脚数を極力少なくできるように決定した。また、耐震性向上のため、50年以上経過し

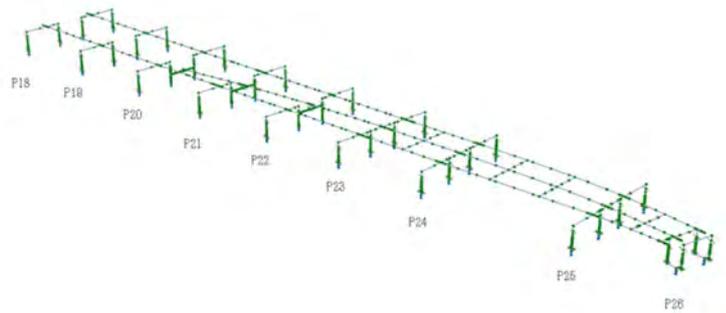


図4 動的解析の立体モデル(1472-1481区間)

ている既設の固定・可動支承(タイプA相当)を、全箇所タイプBの固定・可動支承へ交換した。交換する支承は、既設がスレンダーな橋脚なため、狭い設置スペースに対応できるコンパクトなディスク型高面圧ゴム支承(図5)を採用している。

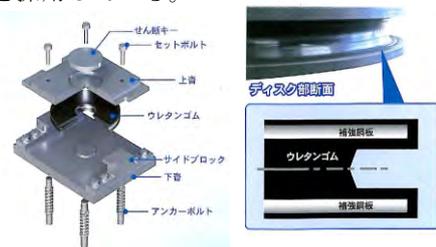


図5 DRB支承

既設構造への支承の固定方法は、既設上部工横梁PCケーブルとアンカーボルトの干渉を避けるため、上沓側を図6に示すような3面固定の取り付け構造とした。

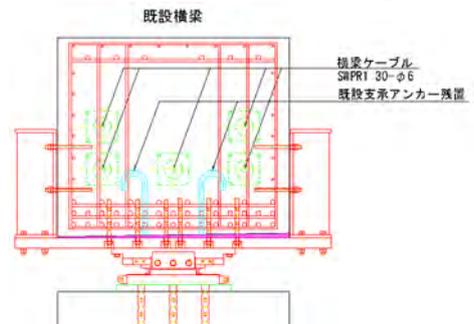


図6 上沓側の既設横梁への取付構造

4. 施工概要

施工内容は、構造系の変更を伴う連続化・桁補強・耐震補強と多岐にわたる。都市高速特有の狭い作業スペース、供用しながらの施工という難しい現場条件の中での施工である。

(1) ゲルバー連結²⁾

ゲルバー部を連結するためには、ゲルバー遊間部を間詰めし、外ケーブルを緊張する。間詰め部の充填状況は施工後に確認できないため、実物大試験体によるゲルバー遊間部の間詰め材充填確認試験(写真3)を行い、充填性能を事前に検証した。



写真3 ゲルバー充填試験実物大供試体

箱桁内配置の外ケーブルのため箱桁内横梁に貫通孔を削孔するが、支点上横梁にはPC鋼材や横梁主鉄筋があり、これを避けて削孔する必要がある。標準横梁部で2.0m、ゲルバー連結部で4.35mの削孔長となり、鉄筋探査ではPC鋼材や主鉄筋の位置をすべて把握することができない。そのため、通常のコア削孔ではなくウォータージェット削孔とし、PC鋼材や主鉄筋を誤って切断することのないよう配慮した。

既設床版より下のゲルバー遊間間詰め後、路面側の既設伸縮装置を撤去し床版連結(写真4)を行う。床版連結する対象箇所は、ゲルバー連結した5橋脚26レーン分である。施工はコンクリートはつりを含む工事であったため、近接する大井競馬場開催日を避けた上で、高速規制・ランプ通行止を実施し施工した。



写真4 床版連結工事施工状況

(2) ゲルバー分離

一方、ゲルバー分離する箇所では新設橋脚・新設横梁を構築し、新たな支点を設けた。

新設橋脚を先に施工し、その後新設横梁を構築した。既設ゲルバー沓9点支持から新設橋脚・横梁3点支持に反力移行(図7)を行う際は、支点数・支持位置の変更が伴い、桁端部の路面段差を発生させない必要があった。上部工の支持構造の変更による変位等が明確に把握できないため、ゲルバー分離作業・反力移行作業においては応力計測・変位計測を用い作業の安全性・品質管理に配慮した。また、新設支承の固定については、新設横梁構築⇒既設ゲルバー沓分離⇒路面の高さ調整後に実施した。その間は、ベントによる仮受け設備での支持である。なお、応力計測・反力移行作業の詳細については別途報告する。既設ゲルバー沓は、ゲルバー部の狭隘な位

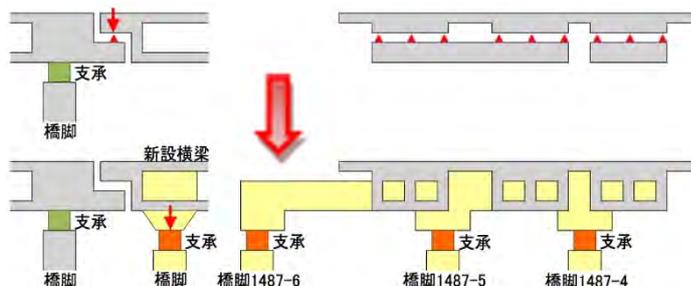


図7 ゲルバー分離部の反力移行イメージ図

置に設置されており、手が届かない状況であったので、既設ゲルバー沓の分離にはワイヤーソーを用い分離切断することとした。ワイヤーソー切断にはφ10mm程度のワイヤーを用いるため、高さ方向に2回切断を行うことで約20mmの隙間を確保した。

また、新設横梁は既設主桁高が低く梁高がとれないため、PC構造とした。既設主桁ウェブに貫通孔を設け、新設横梁内にケーブルを配置した外ケーブル方式の構造である。新設横梁のコンクリートは、鉄筋配置が密なこととバイブレーターによる締固めができない箇所が存在することから、高流動コンクリートを使用した。さらに主桁内に打設される部位については、膨張コンクリートとし、ひび割れ対策を実施した。

ゲルバー分離箇所の伸縮装置は、別工事で連続化後の移動量に対応可能な伸縮装置に交換した。

(3) 外ケーブル補強

上部工の外ケーブル補強は、支点上の上縁補強・ゲルバー連結用にF270TSケーブル4本/1主桁を配置し、下縁補強用にF200TSケーブル2本/1主桁を全橋にわたっての配置(図8)である。一部の連続一体化については外ケーブル長が最長で210mになった。これは、補強工事においては過去に例のない長さであり、偏向箇所数が多いことから、施工前に試験緊張を行い、実際の張力損失量を確認したうえで本緊張を実施する。

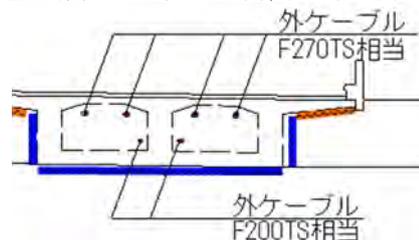


図8 上部工のケーブル配置

F200TSケーブルは全橋にわたって配置しており、1本の長いケーブルでは桁内への取込みが極めて困難となる。そのため、分割ケーブルとし桁内取込み後、カップラー接続し緊張する。さらに、桁高の低い箱桁内部の維持管理の面から、今後の点検調査に支障とならないようケーブルを平面偏向して桁内の点検スペースを確保した。また、ケーブル配置により既設マンホールを塞いでしまう箇所については、新たに新設マンホールを設けて維持

管理を可能にした。

(4) 炭素繊維シート補強

上部工補強の曲げ補強として主桁下面に橋軸方向に炭素繊維シートを、せん断補強として主桁ウェブ側面に鉛直方向に炭素繊維シートを接着する。施工は、桁下街路の建築限界の関係・常設規制帯の範囲・他工種の作業スペースの確保から、全面吊足場等は設置せず主に高所作業車による夜間施工となった。高所作業車施工となるため、問題なく施工できる寸法として最大シート長を3mとした。せん断補強の炭素繊維シートでは、主桁高が低いことでシートの定着長が十分に確保できないため、鋼板を用いた機械式定着とした。機械式定着のアンカー削孔では、ウェブ内にある既設PCケーブルとの干渉を避けるため鉄筋探査を行い既設PCケーブルを損傷させないよう細心の注意を払って施工した。

(5) 剥落防止

上部工補強が必要ない上部工コンクリート部は、供用後50年以上経過しているため、将来の経年劣化によるコンクリート片の剥落防止と景観を向上させる目的で全面剥落防止の施工である。剥落防止には、施工効率を向上させるため、シート系ではないパルーン工法を採用した。剥落防止工等の施工前調査では、コンクリート表面の浮き・ひび割れ・豆板・鉄筋露出・異物混入など多数の損傷が見られた。これらをはつり取り、断面修復等の事前補修・下地処理を完了させた後、剥落防止工および炭素繊維シート補強工を実施した。

(6) 支承取替

支承取替は、現場の常設規制帯の設置条件の制約から1期（歩道側施工）2期（中分側施工：形態①）3期（中分側施工：形態②）の3期に分けての施工となった。歩道側支承で2000kNクラス、中分側支承で5000kN～10000kNクラスの支承である。支承取替時の仮受け設備にはベントを使用し、仮受けベントは鋼構造架設計施工指針（土木学会,H14.4）に準じ、耐震性を考慮した構造とした（写真5）。



写真5 仮受けベントの設置状況

さらに支承取替時の周辺環境（大井競馬場など）の騒音対策として、既設支承の撤去は柱頭部切断にワイヤー

ソー工法を採用した。ワイヤーソーは空冷式の乾式タイプを用いた。仮受けベントは、供用中にジャッキアップを継続して行うため、相対変位とジャッキ反力を常時管理し、管理値内であることを確認した（図9）。



図9 ジャッキアップ反力値（中分側の例）

また、一部のゲルバー分離部では大井競馬場出口を塞いでしまうため、新設橋脚・新設横梁が設置できない箇所があった。ここについては、新設支承受け用の大型ブラケットを既設横梁に設置して、反力の受替えを行うこととした。この大型ブラケットは、現場条件および作業条件から分割構造とすることが困難であったため、1部材最大15tの大型ブラケットとなった。通行止めの出来ない現場の規制条件から、架設方法に低床トレーラーを用いた大型リフター台車架設工法（写真6）を採用した²⁾。夜間規制可能時間の23:00～6:00で完了しなければならないため、事前に弊社機材センターにて現場架設手順と同等の動作確認試験を実施した。大型リフターの安定性・動作スピード・低床トレーラーの動き・作業員の作業手順の確認等を行い、実施工に反映した。



写真6 大型ブラケットのリフター架設状況

(7) 橋脚耐震補強

橋脚耐震補強も支承取替と同様に、1期・2期・3期と分けての施工である。支承取替が完了した橋脚から橋脚耐震補強を実施する。既設の巻立て鋼板の撤去は、桁

下作業でクレーンを設置できないため、予め手運搬可能なサイズにディスクサンダーで切断し、1枚ずつ剥がして搬出することとした。

既設橋脚断面は、1.0 m×1.6 m とかなり狭小である。既設フーチングも浅い位置となっており、土留め設備としては深さ1.0 m～1.5 m 程度の円形ライナーで施工可能であった。一方、歩道側橋脚の土留めについては、埋設配管（NTT・電気・水道等）が多数存在するため、矩形ライナーを採用した。しかしながら、掘削深さが浅い代わりに十分な土被りがないため、基部補強アンカー設置後の根巻きコンクリート天端高さの管理の精度が要求された。そのため、型枠・コンクリート打設の管理は標高で行い出来形の精度を高めた。（写真7）



写真7 橋脚補強施工完了写真

(8) 新設下部工

新設橋脚は既設構造と同じく柱式橋脚とした。基礎杭はφ1000 mm の場所打ち杭とし、高架下での施工であるためTBH工法（写真8）を用いた。なお、施工方法の詳細については別途報告する。



写真8 TBH工法での施工状況

土留め設備は鋼矢板を用い、高架下での施工・周辺環境（大井競馬場など）の騒音対策のため、施工はサイレントパイラーを用いた圧入工法（写真9）を用いた。



写真9 サイレントパイラーでの施工状況

新設橋脚の施工後の手順は、“新設横梁の施工⇒ゲルバー分離⇒新設支承部の高さ調整”となっている。通常の新設橋脚の施工とは違い、上部工全ての作業が終了してから新設支承の設置高さを固定する。そのため、新設支承の高さ調整代を事前に確保しておく目的で、新設橋脚天端高さは規格値に納まる範囲で低めの仕上りとした。

5. おわりに

本工事は2件の工事に分かれており、下部工を中心とした施工の『(改) 支承・連結装置耐震性向上工事 1-108』は計画通りにしゅん功済みである。上部工を中心とした施工の『(修) 構造物改良工事 1-203』は、現在継続中である。これら長期間にわたるPCゲルバー橋の大規模修繕工事は、ゲルバー桁の連続化という上・下部含めた構造系を変更する大規模改築であり、点検・補修が困難であったゲルバー構造を解消することで、耐久性・耐震性の向上を図ることができたと言える。また、維持管理に配慮したマンホールの追加やゲルバー脊・伸縮装置の撤去により、今後の維持管理において省力化が図れる。二次的な効果としては、連続化による走行性の向上、炭素繊維シート補強・剥落防止塗装による美観向上・第三者被害の低減が見込まれる。²⁾

本稿は、今後のゲルバー改良大規模修繕工事等の参考となるよう、『(改) 支承・連結装置耐震性向上工事 1-108』のしゅん功を機に報告するものである。

最後に、ご協力・ご指導頂いた首都高速道路(株)の皆様ならびに関係各署の方々にお礼を申し上げ結びとする。

参考文献

- 1) 小島直之：PCゲルバー橋の連続化に関する設計検討（首都高速1号羽田線勝島地区PC橋）、PC工学会第21回シンポジウム論文集、pp.17-20,2012.10.
- 2) 吉村崇志：高速1号羽田線の勝島地区橋梁改築の設計施工概要、首都高技報第49号、pp.4-8-5,2017.
- 3) 原靖知：勝島地区の送出し工法を用いた横梁新設工事、首都高技報第47号、pp.4-9-3,2015.