

盛土構造の更新に橋梁技術を適用した 函体工事報告

谷口 博胤*1・富山 茂樹*2・小島 直之*3・田原 大地*4

首都高速 1 号羽田線（東品川栈橋・鮫洲埋立部）は、1963 年の供用開始後 56 年が経過した延長約 1.9 km の区間である。部分的な補修を行っているが、損傷が顕在化しており 2016 年 2 月より大規模更新工事が進められている。上記延長のうち約 600 m を占める鮫洲埋立部は、既存の盛土構造を地盤改良により安定した基礎地盤に改良し、その上にボックスカルバートを構築する計画である。

厳しい施工条件下において、工程短縮を実現しつつ耐久性、維持管理性を向上させる提案が求められた。そこで、橋梁技術をボックス構造に適用したこれまでにない函体構造を考案した。本稿では、橋梁技術を適用したプレキャストセグメントによる新たなボックスカルバート構造により、急速施工を実現した鮫洲埋立部函体工の設計・施工について報告する。

キーワード：プレキャスト部材、リブ付U形セグメント、PC合成床版、工程短縮

1. はじめに

首都高速1号羽田線（東品川栈橋・鮫洲埋立部）は、1963年に供用した羽田空港につながる重要路線であり、供用後56年が経過している。2016年より開始された首都高事業初となる大規模更新工事は延長約1.9 kmあり、埋立部0.6 kmと海上1.3 kmの栈橋部からなる（図 - 1）。本稿で述べる鮫洲埋立部は、盛土構造を支える護岸として鋼矢板を土留め壁とした埋立区間であり、土中に1.6 m間隔に配置されたタイロッドにより鋼矢板どうしを連結させた構造である。

土中部のタイロッドの腐食・破断により、鋼矢板が海側にはらみ出し、路面のひび割れや陥没などの損傷が過去に多数発生している。これまでも点検・補修を行ってきたが、長期的な安全性を確保する観点から、大規模更新区間として造り替えることとなった。本稿では、厳しい施工条件のもとプレキャスト部材を積極的に活用し、工程短縮を実現したボックスカルバートの設計・製作・施工について報告する。

2. 工事概要

本工事は、長期間の通行止めを行わずに既設路線を供用しながらの造り替え工事となる。そのため、更新区間内の上下線と並行にう回路を先行して設け、交通を切り回しながら施工を行っている。2020年7～9月に開催予定であった東京五輪の円滑な開催に支障を与えぬよう、五輪開催時には劣化が進行した既設道路を通行させないことを目標

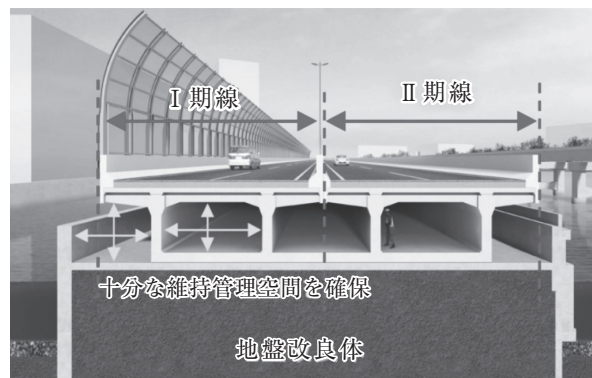


図 - 2 完成イメージ図



図 - 1 高速 1 号羽田線（東品川栈橋・鯨洲埋立部）更新事業位置図

*1 *Hirotsugu TANIGUCHI*: 三井住友建設(株) 土木本部 橋梁構造設計部

*2 *Shigeki TOMIYAMA* : 三井住友建設(株) 土木本部 土木設計部

*³ Naoyuki KOJIMA：首都高速道路(株)更新・建設局 土木設計課

*4 Daichi TAHARA : 首都高速道路(株) 東京西局 土木保全設計課

とし、それまでにう回路とⅠ期更新線（半断面の新設構造物）を構築し交通切替えを行う計画である。

鮫洲埋立部の構造形式の選定にあたっては、高架構造案・盛土を地盤改良する構造案・盛土を地盤改良しかつその上にボックスカルバートを構築する案の3案から比較検討を行った。現況の路面高さが海面に近いので、高架構造となると維持管理に必要な空頭を確保できず、さらに土中に密にタイロッドが配置されており、既設タイロッドに影響を与えずに高架基礎を構築する高架構造案の採用は困難であった。また、既設の盛土構造を地盤改良体に置き換える構造案も現況同様、損傷の事前察知が困難であり維持管理性に課題があることから適用外となった。そこで、地盤改良により安定した基礎地盤を造成し、その上にボックスカルバートを構築する構造を選定した。鮫洲埋立部の完成イメージを図-2に示す。

3. ボックスカルバートの構造概要

鮫洲埋立部のボックスカルバート構造は、当初案として2連の場所打ちボックスカルバート構造が選定されていた

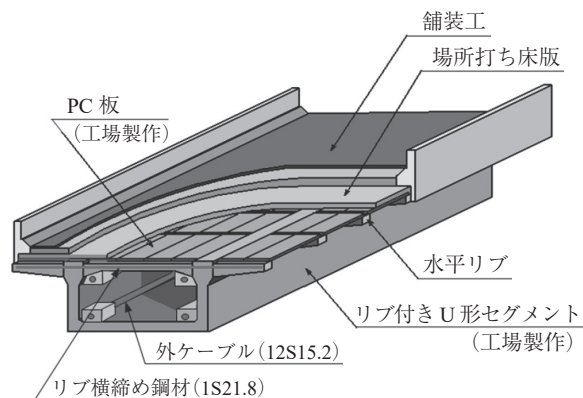


図-4 ボックス構造概要図

（図-3）。今回の更新工事において、ボックスカルバートに求められた構造要件は、急速施工・高耐久性能・維持管理性向上の3点である。急速施工については、既存の高速道路に損傷が多数あること、五輪開催時には劣化が進行した既設道路を通行させないことを工程上の目標としていたため、工場製品の積極的な採用による施工の合理化により急速施工を実現させる必要があった。また、耐久性向上については、運河沿いに構築する構造物であり、腐食環境下における耐久性を確保するため、品質管理が良好となる工場製品を採用した。さらに、維持管理性向上については、点検維持管理空間の確保が必要であった。以上のことから、プレキャスト化による現場施工量の縮減と工場製品による高耐久性能の確保、さらには広い点検スペースを確保できる張出し床版形式のリブ付きU形ボックス構造の採用を決定した。U形コア断面を有するリブ付きU形セグメントとPC合成床版（PC板+場所打ち床版）から構成されるボックス構造（図-4）は、橋梁上部工技術^{1,2,3)}をボックスカルバートに適用した初めての試みとなる構造形式である。上下線半断面施工となるため、ボックスカルバートは上下線を独立したセグメント形状とし、完成形では床版および底版を場所打ち施工により連結する上下線一体構造（3Box構造）とした。セグメントは、運搬・架設を考慮し、1基あたり奥行き1.5m、重量約22tとし、ショートラインマッチキャスト方式による製作方法を採用した。鮫洲埋立部では、延長約450mを27ブロックのボックスカルバートで構成されており、1ブロックは、1.5mのセグメントを11基組合せて構成している（1ブロック16.5m）。縦断方向にPC鋼材（外ケーブル12S15.2×4本）でプレストレスを導入することで一体化し、縦断方向の耐震性能向上を図った。ブロック間には構造目地を設け、地震時挙動に追随するよう配慮した。構造図を図-5に示す。なお、既設1号線に隣接する京浜運河が海域となるため道路橋示

当初案（2連ボックス構造）

変更案（U形ボックス構造）

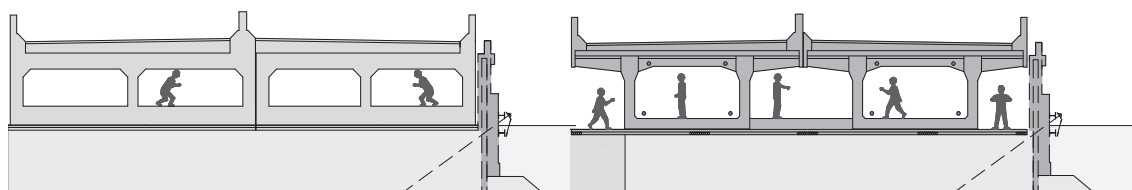


図-3 ボックス構造比較

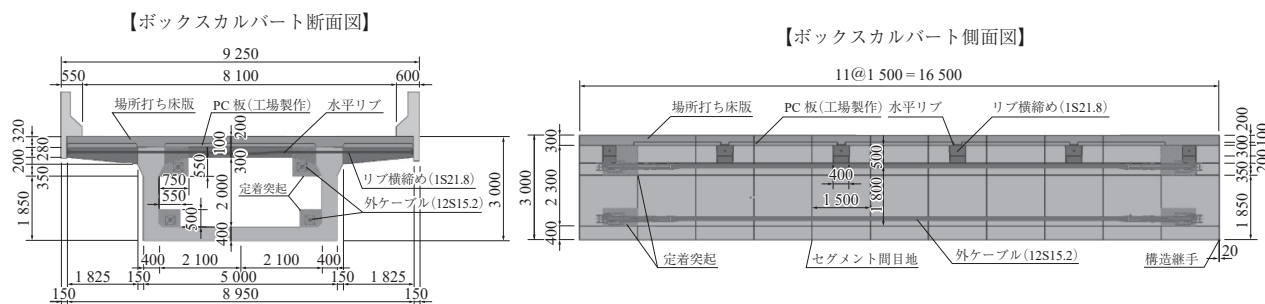


図-5 ボックスカルバート構造図

方書の塩害S区分の規定により、躯体の鉄筋にはエポキシ樹脂塗装鉄筋を採用している。また、外ケーブルには、PE被覆型 ECF ストランドを、PC板のPC鋼線には付着型 ECF ストランドを採用して耐久性向上を図った。

4. ボックスカルバートの設計概要

4.1 設計概要

ボックスカルバートの設計は、連続した地盤に支持される状態となり地盤反力が作用するため、通常のボックスカルバートと同様に横断方向（軸直角方向）が設計の主方向となる。一般的なボックス構造と同様に地盤ばねを支持条件とした骨組解析にて RC 構造として側壁・底版の設計を実施し、床版は、道路橋の床版として設計を行うものとし、リブ付き床版であることから 3 次元 FEM 解析にて設計を行った（図 - 6）。ボックス軸方向の床版の設計は、リブ支間に支持された PC 板が構造的に連続しており、PC 板上面に凹凸を設けることで場所打ち床版と一体で挙動するため、PC 合成床版構造とした。またボックス直角方向では、PC 板が構造的に連続しないため、RC 床版構造（PC 板の剛性は考慮しない）として設計を実施した。床版厚としては、一般部 300 mm、張出し部 320 mm となる（PC 板《一般部：100 mm、張出し部：120 mm》+ 場所打ち床版 200 mm）。

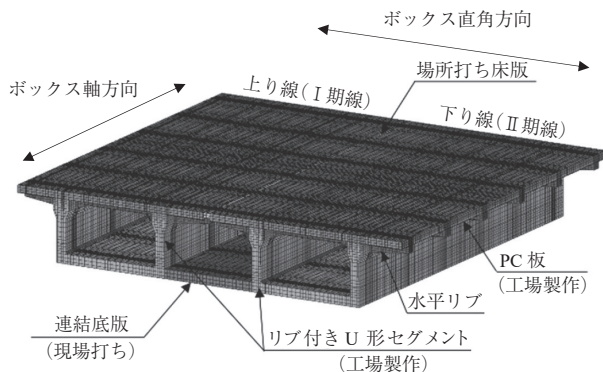


図 - 6 リブ付き床版設計用 FEM モデル

4.2 縦断方向の耐震設計

縦断方向の地震時挙動は地盤変位によって支配されることから、「共同溝設計指針」に基づいた応答変位法により耐震設計を実施した。表層地盤の地震時挙動（変位振幅、波形）からボックスカルバートに発生する断面力を算出し、地震時における応力度照査を行った。ボックスカルバート縦断方向には、セグメントを PC 鋼材（12S15.2PE 被覆型 ECF ストランド）にて連結する構造を採用し、L1 地震時においてセグメント目地部でフルプレストレスとなるように応力度を制限した。

地震時の動的挙動を把握するため、埋立部全延長の地盤およびボックスカルバートをモデル化した動的解析による照査を併せて実施した。動的照査の検討フローを図 - 7 に示す。地盤の地震応答解析を 2 次元 FEM 動的解析により行い、応答変位を抽出し、ボックスカルバートの構造モデルに地盤ばねを介して応答変位を与える解析手法を用いた。なお、地上構造物であることから、応答変位に加え応

答加速度も与えて慣性力の影響を考慮した。なお、地震伝達時間を反映するため、位相差（1 000 m/秒）を考慮した解析を実施した。構造モデルは、ボックスカルバートを梁要素、地盤をばね要素とし、セグメント目地および構造継手部の結合条件は、ばね要素で評価した。

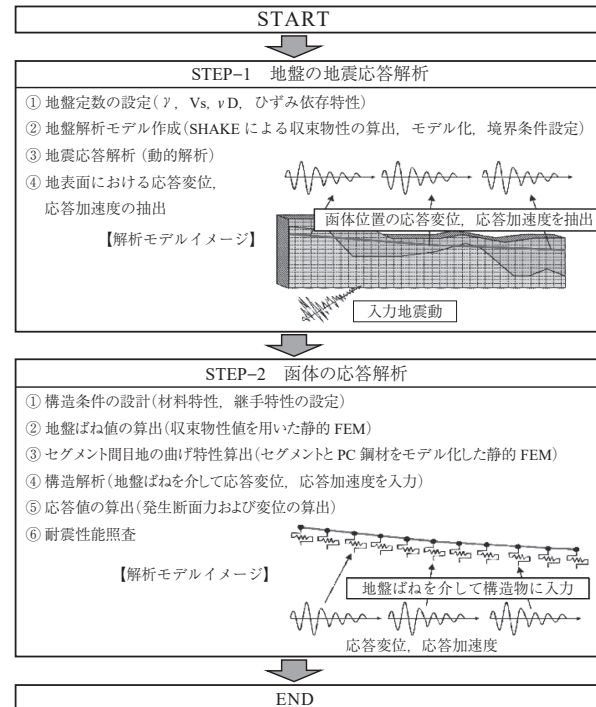


図 - 7 縦断方向動的照査フロー

5. ボックスカルバートの製作概要

ボックスカルバートのセグメント製作には、線形予測システムを用いた厳密な形状管理により道路線形を確保するショートラインマッチキャスト方式による製作方法を採用した。現場におけるセグメント設置工程に間に合うよう、施工開始日の 6 か月前から製作に取り掛かった。使用ベツト数は 3 ベツト、上り線用に製作したセグメント総数は 286 基であり、製作に要した期間は約 1 年になる。セグメント製作は、鉄筋組立ヤードにて鉄筋籠の組立てを行い、組み上げた鉄筋を専用の治具で揚重し型枠内に投入し、型枠をセットするまでに 1 日、打設養生で 1 日として 2 日に 1 セグメントの製作サイクルでセグメント製作を行った。

セグメント製作は、線形シミュレーションシステムを用いて出来形管理を行った。セグメント計測はセグメント天端で行い、測量データを基に次セグメントの出来形を予測し型枠セット補正を行った。出来形管理の一環として 1 ブロックのセグメント製作が終わった段階でセグメント形状を反映した平面図と側面図の作成を行い可視化して管理した。また、セグメント嵌合後のセグメント延長が接着剤の厚み分によりプラス側に延伸するおそれがあったため、製作当初は設計値に対しマイナス管理で出来形を管理するように 1 ブロックあたりの製作延長を管理していたが、実際に現場では、接着剤の厚み分によりセグメント延長が延伸

する傾向はわずかに見られたが微小であったため、途中から目標製作延長を設計値±0として修正した。セグメントのショートラインマッチキャスト方式による製作状況を写真-1に示す。

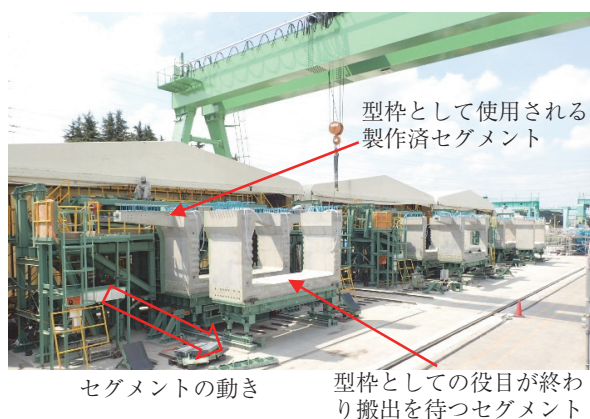


写真-1 セグメント製作状況

6. ボックスカルバートの施工

6.1 地盤改良工の施工

ボックスカルバート設置に先立ち、ボックスカルバートに対する支持力、支持地盤の液状化に対する安定性の確保および既設鋼矢板護岸への土圧軽減による土留め機能の確保を目的に、鋼矢板護岸背面のボックス構造下全面にセメント系改良体を造成した(図-8)。地盤改良により地盤は自立し、将来護岸としての役割を担う既設鋼矢板には、作用する主働土圧および地震時土圧を低減する設計としている。施工計画立案にあたり、1.6m間隔に埋設されているタイロッド、過去の路面陥没時に応急補強として2.4m間隔に設置したグラウンドアンカーの存在を考慮した(図-9)。横断方向の改良範囲は、海側は既設鋼矢板の背面まで、陸側はボックスカルバートの底版端部までとし、改良対象層は、地盤調査結果より、N値が0～6(平均値

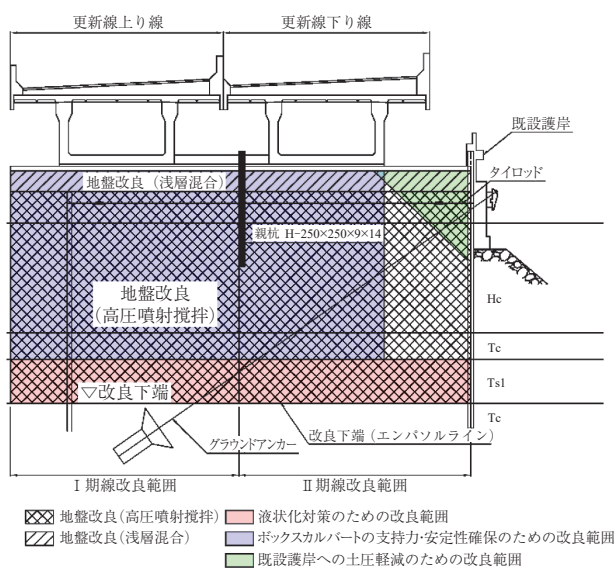


図-8 地盤改良構造

2.1)の軟弱層であるHc層(埋土)・液状化層であるTsl層(第一砂質土)を対象層とした。

地盤改良工法としては、既設埋設物および供用中下り線への影響を低減するため、三重管式高圧噴射攪拌工法を採用した。具体的には、上り線部は供用中下り線への影響を抑制するため、低排泥・低変位型のOPTジェット工法とし、既設下り線部の施工時は近接施工の制約がないため、大口径の改良体が造成可能で工程短縮に寄与するJEP-G工法とした。写真-2に地盤改良施工状況を示す。

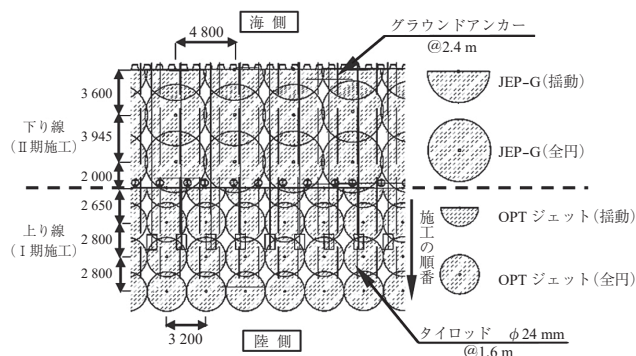


図-9 地盤改良工法選定

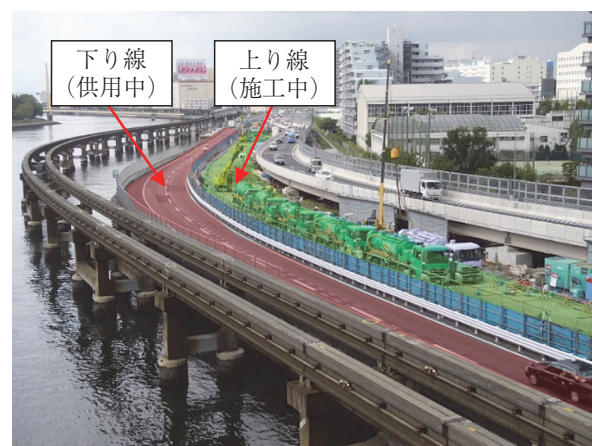


写真-2 地盤改良施工状況

6.2 セグメント架設方法について

ボックスカルバートの施工は、供用する上下線に挟まれた狭隘なスペースにおける厳しい条件での施工となる(写真-3)。

当初、セグメントの架設方法としては、門型クレーンによる軌条設備(図-10)を中心とした架設計画としていた。この施工方法では、軌条設備の設置撤去に時間を有すること、狭いスペースでの稼働効率に課題があるため、準備工を必要としない、狭いスペースで柔軟に対応可能なフォークリフト(30t級)による架設方法を考案した。

しかし、フォークリフトの採用に際しては、クレーン架設での荷さばきを再現できる機構を有する必要があることなど課題もあった。

課題①としては、通常のフォークリフトは機械の動作が速く、ゆっくりと荷を動かすことを想定していないため、



写真 - 3 セグメント架設全景

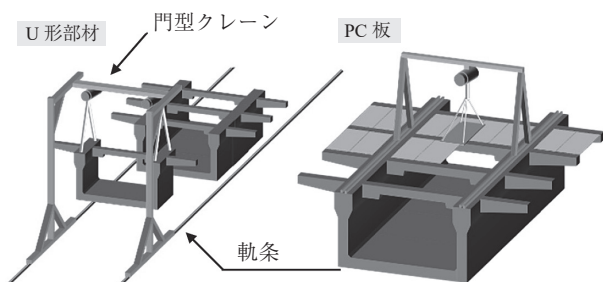


図 - 10 軌条設備による架設機



写真 - 4 専用アタッチメント

セグメント設置時に高さや向きなどmm単位での調整が必要となるセグメント架設に不向きな点がある。この課題に対し、「超微速荷役作業制御」という機能をフォークリフトに付与した。この機能は、通常のフォークリフトよりも動作油の突出量を少なく排出できる制御バルブを装着することで、油圧による各機能の動きを微速に制御することができる機能である。

課題②としては、通常のフォークリフトでは荷を運んで運搬先にすぐに荷を置く用途であり、荷を一定の高さに保つことができない点であった。セグメント架設では高さ方向や左右方向の位置を合せながらセグメントマッチ面を接合していくため、架設中に荷が降下するとマッチ面の接合や引寄せ鋼棒の緊張をすることができない。この課題に対し、「自然降下防止用チェックバルブ」という機能を付与した。この機能は、先述のフォークリフトの自然降下を制御する機能であり、この機能の付与により通常のクレーン架設と同様に荷を一定の高さに保ちながらセグメント架設をすることが可能となった。以上2つの課題に対する改造を中心にそのほか15項目の改造をフォークリフトに加え、本工事専用のフォークリフトを製作した。

ただし、フォークリフトの改造にも限界があり、フォークリフトの動きを補うための架設専用アタッチメントを別途開発した。このアタッチメントは、通常のフォークリフトと違い、逆さにしたフォークと組み合わせて使う構造となっており(写真-4)、フォークリフトで架設中のセグメントに対して、前後左右へ位置調整することが可能のようにスクリュージャッキとスライド機構を有したアタッチメントであり、地上より無線によるリモコンで操作ができるようになっている。これらの課題を解決して、荷受けから運搬、架設までの一連作業をフォークリフトのみで対応可能とした。

ボックスカルバートの施工概念図を図-11、ボックスカルバートの施工フローを図-12に示す。セグメントの架設方法は、橋梁上部工におけるセグメント架設工法と同様である。セグメント接合面に接着剤を塗布し、レバーブロックにて微調整しながらセグメントどうしを引き寄せた後、引寄せ鋼棒(φ26-4本)を緊張して接合する。そのうち、セグメント下面に配置した単動ジャッキ(高さ75

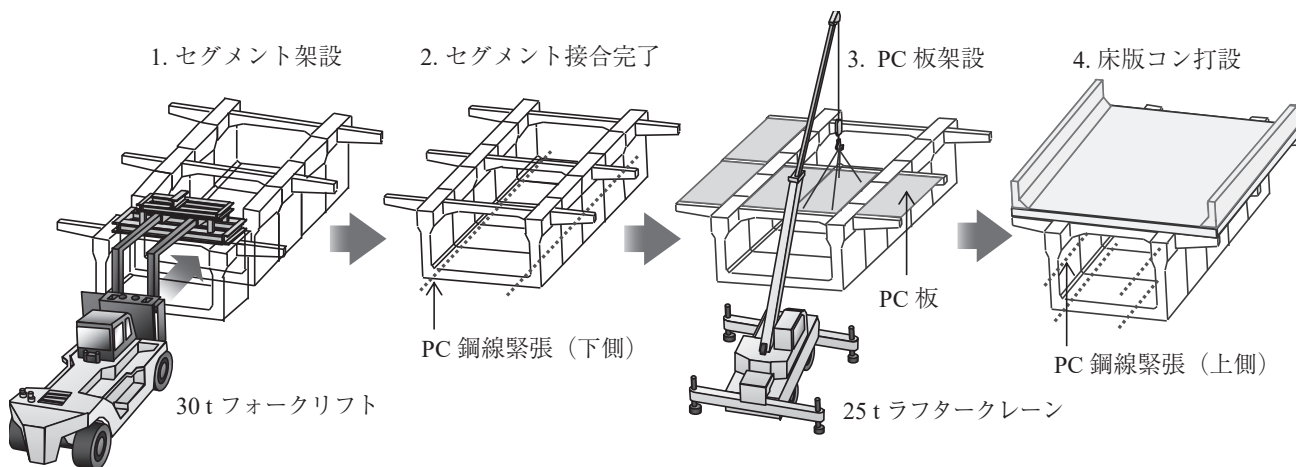


図 - 11 ボックスカルバートの施工概念図

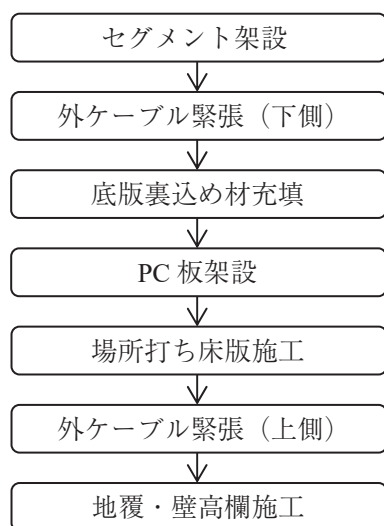


図 - 12 施工フロー

mm) にて仮支持し、フォークリフトを除荷、セグメントの設置高さ確認後、台座コンクリート上にライナープレートを挿入し、単動ジャッキから盛替えてセグメント架設を完了する (写真 - 5)。11 基のセグメント架設完了後、縦断方向に配置した外ケーブルを緊張し一体化を図る (写真 - 6)。セグメントは台座コンクリートに多点支持された状態であり、接地面との摩擦抵抗を極力低減するため、テフロン板とステンレス板の積層構造 (厚さ各 1 mm) を台座コンクリート上に挿入して対処した。外ケーブル緊張後、一般的なボックスカルバートと同様に底版と均しコンクリート間に裏込め材を充填し基礎との一体化を図った (写真 - 7)。裏込め材は、充填性と強度を考慮し、高性能 AE 減水剤を添加したモルタルとした。床版施工は、PC 板敷設 (写真 - 8)、場所打ち床版の鉄筋型枠組立からコンクリート打設 (写真 - 9) までとなり、ボックスカルバート 1 ブロックの構築が完了する (写真 - 10)。

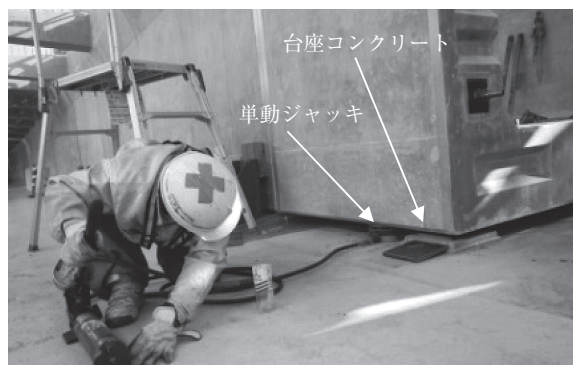


写真 - 5 セグメント設置状況



写真 - 8 PC 板敷設状況

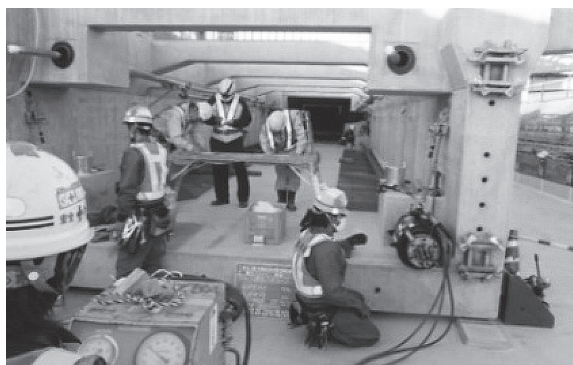


写真 - 6 外ケーブル緊張状況



写真 - 9 床版打設状況



写真 - 7 底版モルタル充填状況



写真 - 10 ボックスカルバート完成時

7. おわりに

プレキャスト部材の積極的な採用、フォークリフトを導入した施工方法の効率化により、鉄筋・型枠組立作業など、現場における施工量縮減による工程短縮を図るとともに、施工の効率化、省力化・省人化を実現した。ボックスカルバート1ブロックの施工サイクルは、セグメント11基と下側外ケーブル緊張を4日で完了、底版裏込め材充填、PC板架設まで6日サイクルでの施工を可能とし、従来の場所打ち施工工法（全体工程340日）と比べ、今回の更新線り線の施工において3.0か月の工程短縮を実現した。工事着工前の状況を写真-11に、完成後の状況を写真-12に示す。

リブ付きU形コア断面を有したボックスカルバート構造は、その着想起源を当社施工の第二名神古川高架橋（PC上部工）工事^{1,2)}や圏央道桶川第2高架橋（PC上部工）工事³⁾による。いずれもセグメント軽量化策として上床版を後打ち施工するリブ付きU形コアセグメントであった。本構造は、過去に実物大実験を実施し、品質および製作、架設に対し安全性の確認を行った構造である。

プレキャスト化による生産性向上技術として今後も期待できる構造であるとともに、橋梁技術を一般土木に応用した新たな領域での実績を確立したといえる。本稿が、橋梁以外の土木構造物へのプレキャスト化推進に対して、一助となれば幸いである。



写真 - 11 着工前写真



写真 - 12 I期線完成後写真

参考文献

- 1) 池田博之, 春日昭夫, 水口和之, 室田 敬, 古川高架協の設計と施工（上）橋梁と基礎 Vol.35, No.2, 2001年2月
- 2) 池田博之, 山中 覚, 水口和之, 中積健一, 古川高架橋の設計と施工（下）橋梁と基礎 Vol.35, No.3, 2001年3月
- 3) 中村雅範, 古澤 聡, 中積健一, 鈴鹿良和, 首都圏中央連絡自動車道 桶川第2高架橋の設計・施工, プレストレストコンクリート Vol.57, No.1, 2015年1月
- 4) 谷口博胤, 小島直之, 大西孝典, 富山茂樹, 工藤 忠: 首都高速1号羽田線更新工事 鯨洲埋立部の函体施工概要, 土木学会第74回年次学術講演会, 2019年9月
- 5) 谷口博胤, 小島直之, 大西孝典, 富山茂樹: 首都高速1号羽田線更新工事 鯨洲埋立部の函体設計・施工報告, 第28回プレストレストコンクリートシンポジウム, 2019年11月
- 6) 小島直之, 山本多成, 濱崎景太, 江野本学, 石川 大: 首都高速羽田線更新工事の全体施工計画, 土木学会第73回年次学術講演会, 2018年8月

【2020年7月31日受付】



刊行物案内

第47回 PC技術講習会テキスト

いま求められるPC技術

令和元年6月

定 価 6,111 円(税込)／送料 300 円

会員特価 5,000 円(税込)／送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会