

プレキャストセグメント PC 桁の技術を応用した カルバート工の設計・施工

木村 和正*1・佐藤 徹*2・長町 利昭*3・三井 健司*4

近年、建設業就業者の減少や高齢化が進み、鉄筋・型枠熟練工の不足と技能低下が深刻化しており、工事の省力化・生産性向上を図るために、コンクリート構造物のプレキャスト化を図ることが求められている。

本稿では、新名神高速道路の関連工事である高槻東道路（成合工区）道路改良工事において、高槻 IC（仮称）付近に位置する既設道路と IC への上下線アクセス道路の立体交差部に採用したプレキャスト製の超大型 PC 門形カルバートについて、採用に至った経緯および設計・施工時に考慮した内容について報告する。

キーワード：門形カルバート、プレキャストセグメント PC 桁技術、接合キー、交通規制

1. はじめに

プレキャスト製のカルバートの分野では、約 10 年前から部材にプレストレスを導入したプレストレスコンクリート（以降「PC」と記す）構造を採用し、内空幅の大型化に取り組んでいる¹⁾。また、道路線形に適応する斜角付き PC ボックスカルバートや、施工時でもカルバート内空部を供用しながら施工できる PC 門形カルバートを実用化してきた。これまでの代表的なプレキャスト PC 門形カルバートの施工実績を表 - 1 および写真 - 1 に示す。

表 - 1 プレキャスト PC 門形カルバートの施工実績

工事名 キーワード	発注者	施工 場所	製品規格 (mm)		施工延 長 (m)	施工 年度
			内空幅	内空高		
歩専用ボックス	民間	大阪府	12 000 × 3 600	26.0	H23	
道路改良工事	国交省	茨城県	12 000 × 5 800	26.9	H26	



写真 - 1 プレキャスト PC 門形カルバートの事例

これらは、工場製作された頂版部材と側壁部材を現地で組立てるものであり、プレストレスを導入した頂版部材の

重量は運搬時を考慮し 25 t 未満、内空幅 13 m 未満としている。しかし、近年では内空幅の更なる大型化も要求されるようになり、従来、運搬が困難であった内空幅 13 m 以上であってもプレキャストセグメント PC 桁の接合技術を応用することによって、プレキャスト部材でも内空幅を大型化することを可能とした。この時採用した超大型 PC 門形カルバートの構造概要を図 - 1 に示す。

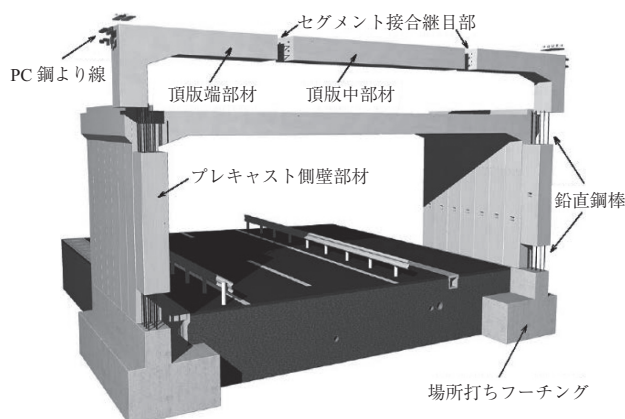


図 - 1 超大型 PC 門形カルバートの構造概要

2. 工事概要

本報告では、国内初となる頂版部材にプレキャストセグメント PC 桁の技術を応用した門形カルバート工の設計・施工事例について説明する。

その工事概要を以下に示す。

工事名：高槻東道路（成合工区）道路良工事その 1

工事場所：大阪府高槻市成合地内

工期：2012 年 3 月～2016 年 10 月

*1 Kazumasa KIMURA：昭和コンクリート工業(株) 営業本部 技術設計部 製品設計課

*2 Toru SATOU：昭和コンクリート工業(株) PC技術部

*3 Toshiaki NAGAMACHI：大日本土木(株) 大阪統括支店 土木部技術グループ長

*4 Kenji MITSUI：大日本土木(株) 本社 土木本部 土木技術部 設計グループ長

発注者：大阪府茨木土木事務所
 施工者：大日本土木・森長組・大末建設 特定共同企業体
 PCカルバート設計・製造：昭和コンクリート工業(株)
 構造形式：ポストテンション方式 PC 門形カルバート
 内空断面：内空幅 $B = 13.85\text{ m}$ (斜長 15.0 m)
 \times 内空高 $H = 6.25\text{ m}$
 施工延長： $L = 8.0\text{ m}$ (ONランプ) + 8.0 m (OFFランプ)
 交差道路幅員： 7.0 m (車道部) + $2 \times 2.5\text{ m}$ (歩道部)
 構造物斜角： 80°
 活荷重：T-25

3. 構造形式の選定

3.1 施工上の課題

発注時の設計では、場所打ち鉄筋コンクリート製の函渠工を採用しており、その斜角は、ONランプ約 63° 、OFFランプ約 72° であった。しかし、工事着手前に現地調査した結果、場所打ちの函渠を構築する上で以下の3点の課題が明らかとなった。

- 1) 函体工底版部に埋設管(ライフライン)が設置されており、構築の支障となるため、埋設管の移設が必要となる。
- 2) 高速道路の本線橋脚とONランプ函渠との離隔が狭く、近接作業時の事故発生リスクが高い。
- 3) 地元住民の生活道路の交通を極力通行止めとしない配慮が必要である。

函渠工と本線橋脚の位置関係を図-2に示す。

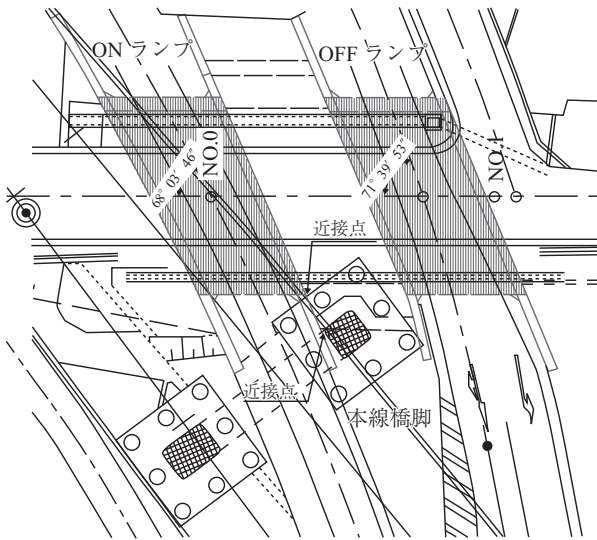


図-2 函渠工と本線橋脚の平面位置関係

3.2 設計変更の経緯と函渠工変更比較

1) の課題である埋設物の移設方法として、場所打ち函渠工を左右に二分割て施工する案(A案)が考えられたが、当初計画よりも工程が約2ヵ月遅れることとなる。さらに、3) の課題である地元住民の生活道路の交通を極力止めないことと、第三者への安全面への影響も配慮する必要があることから、他の構造形式を含め検討を行った。図-3に函渠工の比較表を示す。

工期		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	
一括施工	場所打ちボックス工	掘削工 底版工 支保工 側壁工 頂版工 解体工							
A案	場所打ちボックス工の横断2分割施工	迂回路と東側先行構築工				埋設物移設		西側構築工	
B案	(採用)プレキャスト門形カルバート工	部材製作	基礎杭工	フーチング工	部材組立工	建設費 + 維持費 1.00			
C案	橋梁形式(PC)	PC桁製作	基礎杭工	橋台工	橋梁工	建設費 + 維持費 1.11			
D案	橋梁形式(鋼桁)	鋼桁製作	基礎杭工	橋台工	橋梁工	建設費 + 維持費 1.09			

図-3 函渠工の比較表

場所打ちボックスである(A案)以外に、プレキャスト門形カルバート案(B案)、橋梁案としてPC桁と鋼桁(C、D案)の全4案を比較した。そして工期と建設費、さらに60年の維持管理費も考慮し(B案)を採用するに至った。

3.3 斜角カルバートの課題と解決策

斜角を有するプレキャスト門形カルバート案を採用した場合の課題を整理すると以下の3点があげられる。

- 1) ONとOFFランプの斜角を約 63° と約 72° の門形構造とした場合、隅角部の頂版部材の主ケーブル、頂版部材と側壁部材を接合させる鉛直鋼棒、そして隅角部内部の鉄筋配置が密になり各種鋼材配置が困難となる。
- 2) 門形カルバート基礎を直接基礎とした場合、本線橋脚と埋設管が支障となり、門形の底版フーチング長が確保できない。
- 3) 頂版部材を1つの部材として運搬できない。

以上の課題に対する対策を下記に示す。また、それにより決定された全体平面図を図-4に、標準断面を図-5に示す。

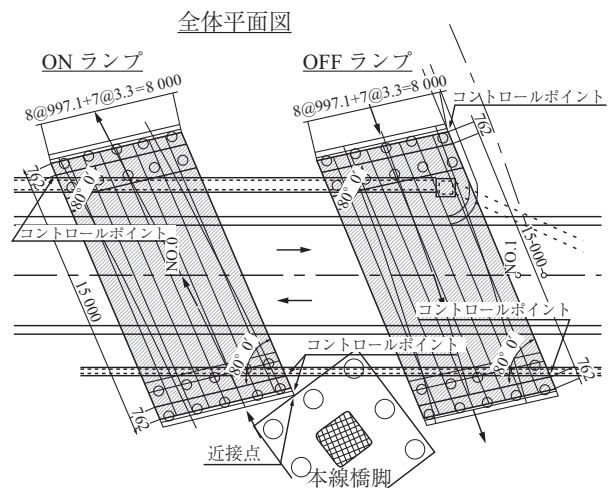


図-4 全体平面図

- 1) 標準断面図に示す交差条件を満たす内空幅を確保し、全体平面図に示すコントロールポイントと隣接する本線橋脚のフーチング離隔から、内空幅は斜長で 15 m 、構造物斜角 80° と決定した。また、ONランプとOFFランプの延長はそれぞれ 8.0 m とした。
- 2) 底版フーチング長を短くする杭基礎モデルを採用し、

埋設管との離隔を確保した。

- 3) 頂版部材を運搬できる重量となるように分割し、プレキャストセグメント桁と同様に、現地でプレストレスを導入し一体化することとした。

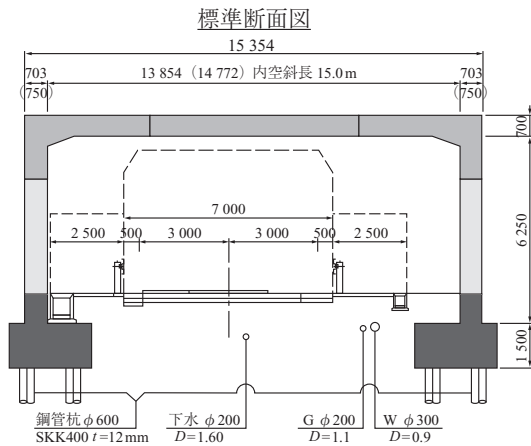


図 - 5 標準断面図

4. 設 計

4.1 耐震設計について

地中構造物であるボックスカルバートの場合、地震時の検討は、一般的に管路施設や地中埋設線状構造物と同じように応答変位法を用いる。門形カルバート構造の場合、「道路土工—カルバート工指針」²⁾ (以下、指針) によれば、躯体慣性力が卓越するため震度法で行いレベル 1 のみの検討を行うこととなっている。しかし、本構造は指針の適用範囲である内空幅 8m を大幅に超え、15m であることから、レベル 2 の照査を追加する必要があると判断した。

レベル 2 地震時照査手法は、「水道施設耐震工法指針・解説」³⁾ や「下水道施設の耐震対策指針と解説」⁴⁾ の基準に示す図 - 6 の耐震設計法の体系に従い、静的解析に用いる耐震設計法の体系に基づいてプッシュオーバー解析 (地震時保有水平耐力法) による照査を行った。

【慣性力が支配的な耐震設計計算法】

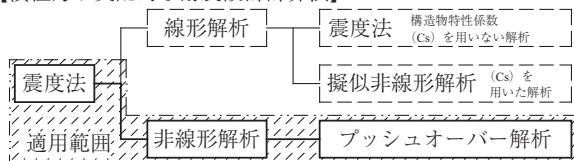


図 - 6 耐震設計法の体系⁴⁾

以下に、詳細設計の流れを記述する。

(1) 設計活荷重時、レベル 1 地震時の検討

これまで施工されてきた大型の PC カルバート¹⁾ では、頂版部材と側壁部材は PPC 構造とし、設計活荷重時の曲げひび割れ制御は、頂版部材内側を一般環境 0.005c (c は、かぶり)、他の部材は土に接する腐食性環境 0.004c としてひび割れ幅の限界値 w_a (mm) としており、レベル 1 地震時の許容曲げひび割れ幅は割増係数 1.5 を乗じた値として

いる。設計活荷重時とレベル 1 地震時の照査結果を図 - 7 に示す。

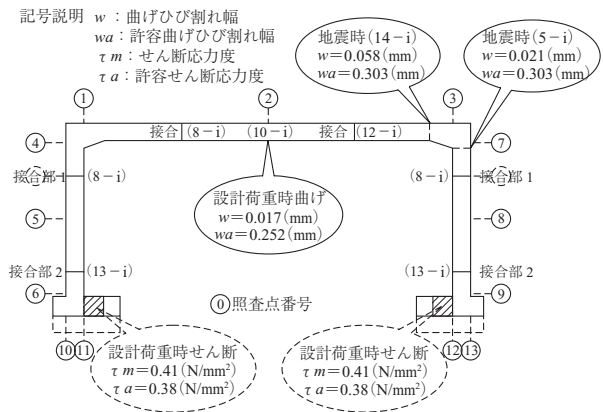
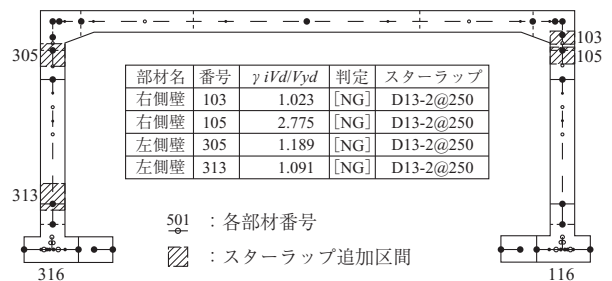


図 - 7 設計活荷重時とレベル 1 地震時 照査結果

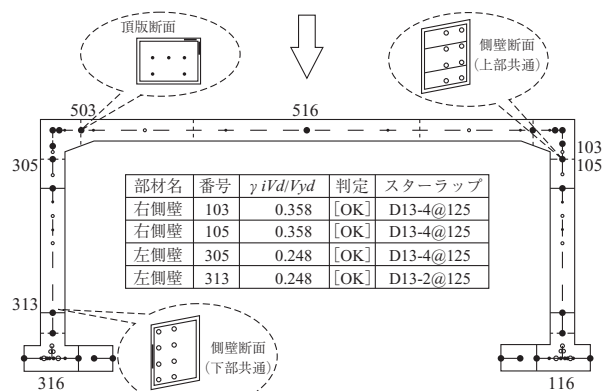
検討の結果、曲げひび割れ幅 w (mm) はとくに問題なかったが、設計活荷重時のフーチングのせん断耐力を確保できなかったため、フーチング部材厚を 800 から 1500 mm へ変更しせん断耐力を向上させた。

(2) レベル 2 地震時の検討

レベル 2 地震時の照査でも曲げ照査は問題なかったが、側壁隅角部と付け根部のせん断照査で、耐力不足のところがあつたためスターラップ配置を見直した。図 - 8 にレベル 2 地震時でのせん断照査結果を示す。図の斜線部分は、レベル 2 地震時の検討によるスターラップの追加区間を示している。



(a) 追加前モデル



(b) 追加後モデル

図 - 8 レベル 2 地震時 せん断照査結果

検討結果から、側壁部材上ハンチより下側には、D13-4組を125mm間隔に、側壁中部材と底版フーチング上部の側壁部材には、D13-2組を125mm間隔で配置した。

(3) 頂版部材のセグメント継目部の照査

セグメント継目部の設計は、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（以下、道示Ⅲ）「プレキャストセグメント構造」の技術を応用して設計を行った。照査した曲げ応力度とせん断力に対する照査項目を3点述べる。

1) 継目部は、設計荷重時と架設時においてフルプレストレスとした。

2) 継目部は、(式1)、(式2)により算出される引張応力度について照査した。

$$\sigma_c = \sigma_0 + 1.7 \cdot \sigma_L \text{ (常時)} \dots\dots\dots \text{(式1)}$$

$$\sigma_c = \sigma_0 + 1.7 \cdot \sigma_e \text{ (地震時)} \dots\dots\dots \text{(式2)}$$

σ_0 : 活荷重および衝撃以外の主荷重による曲げ応力度

σ_L : 活荷重および衝撃による曲げ応力度

σ_e : 地震時荷重による曲げ応力度

地震時については、道示Ⅲに記載がないため、活荷重時の(式1)に準じ、(式2)の計算式を適用した。

3) せん断力に対しては、架設時のセグメント自重によるせん断力に抵抗できるように接合キー(φ28)を4本配置した。

以上の検討から決定した頂版部材継目部の断面を図-9に工場での製作状況を写真-2に示す。

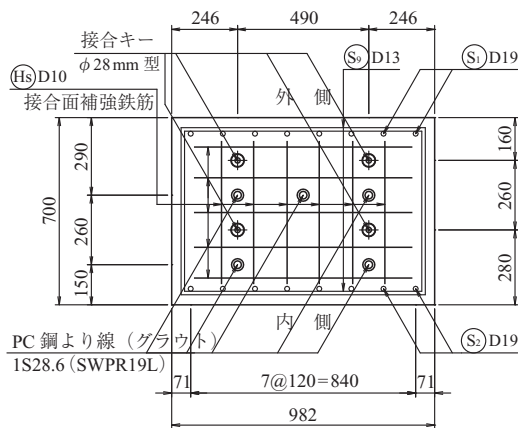


図-9 頂版部材継目部の断面図

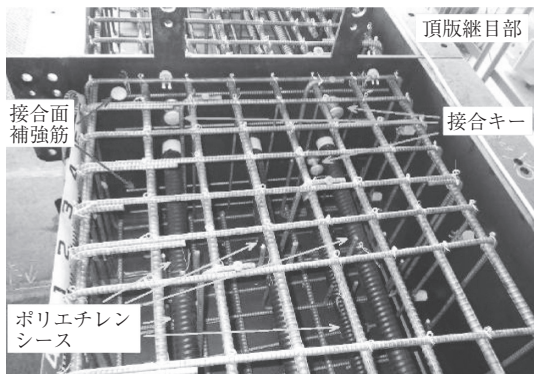


写真-2 頂版部材継目部の配筋状況

4.2 使用材料

各部材のコンクリートの設計基準強度 (σ_{ck}) と使用材料を以下に示す。

頂版部材: $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$

主ケーブル: 1S28.6, 接合キー: φ28mm

側壁部材: $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$, 上下接合 PC 鋼棒: φ32

底版部材: $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$

鉄筋: SD345

部材接合面の材料は、頂版接合面と側壁上部接合面にはエポキシ樹脂系の接着剤を使用し、側壁部材下面と場所打ちフーチングの接合面には不陸調整と架設時の角欠け防止のため無収縮モルタルを使用した。

4.3 PC 鋼材の耐久性向上対策

頂版部材に用いた PC ケーブルのシースは、耐久性を高めるためにポリエチレンシース（以下、PE シース）を使用した。また、16.5mの主ケーブルは曲線配置されるため、グラウト充填が確認できるようにセンサー付きカップラー（写真-3）を用いた。門形カルバートの鋼材配置を図-10に、PE シースとセンサー付きカップラーを写真-3に示す。

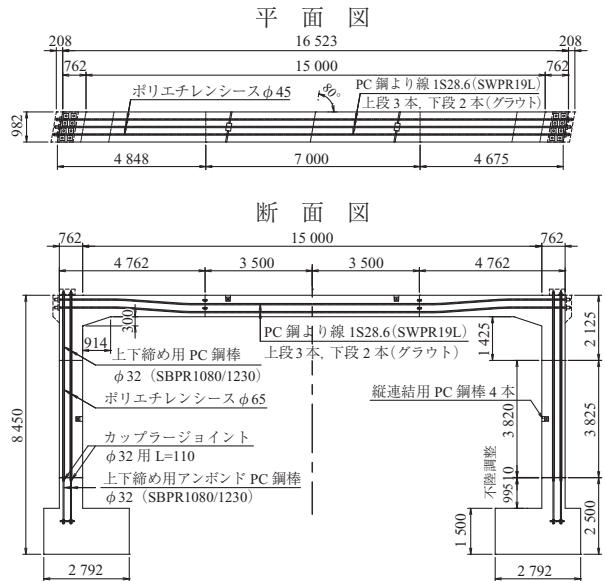


図-10 形状図と鋼材配置図

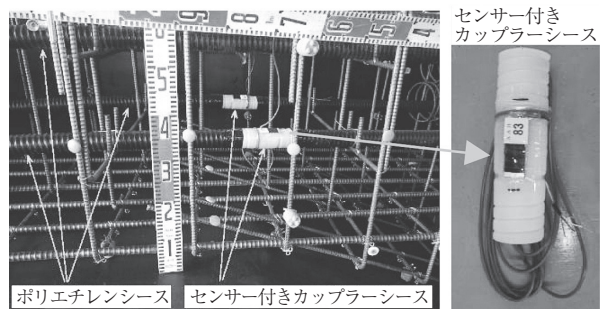


写真-3 PE シースとセンサー付きカップラーシース

5. 分割部材の工場製作

頂版部材の製作は、斜角 80°であること、現場で組立てる分割部材であることから、型枠精度を重視し鋼製型枠を使用した。頂版端部材の鉄筋組立てについては、専用の鉄筋組立て架台を製造工場にて用意し、頂版継目部接合面の接合キーをあらかじめ型枠仕切板にセットすることで製作工程の短縮化を図った。また、主ケーブルを設計上の高さに配置するため、1.0 m 以下の保持間隔とする柵筋を、浮力の生じやすい PE シースを考慮し、750 mm 間隔にて配置した。

6. 施 工

6.1 場所打ちフーチングの施工

場所打ちフーチングの施工では、プレキャスト側壁と接合するためにアンボンド PC 鋼棒の施工精度を確保することが重要である。そこで、フーチング部の均しコンクリート打設前に、アンボンド鋼棒固定用ガイドを設置し位置を決定した。アンボンド鋼棒を所定の間隔でセットし、ねじ切部を保護キャップで養生し作業を行った。

(1) アンボンド PC 鋼棒の組立て

アンカープレートを所定の位置に固定した。次にアンボンド PC 鋼棒を建込み、グリッド筋とスパイラル筋をセットした。アンボンド鋼棒の建込み状況を写真 - 4 に示す。



写真 - 4 アンボンド PC 鋼棒の建込み

(2) 場所打ちフーチング部の鉄筋・型枠の組立て

杭頭鉄筋の組立てとフーチング鉄筋の組立てを行い、カップラーを所定の位置に固定した。アンボンド鋼棒の鉛直精度とカップラー高さを確認し、その後、型枠を組立て、フーチングのコンクリートを打ち込んだ。

6.2 部材組立てと頂版および側壁部材の架設

部材の組立てと架設において、次の点に注意しながら施工を行った。

- 1) 現場で頂版部材を接合作業する架台の設置
- 2) 分割部材の組立てと緊張作業
- 3) グラウトの充填確認

今回、頂版部材は運搬上の問題により 3 分割にしたが、架設を行う際は、現場であらかじめ一体化する必要がある。頂版部材の架設を以下の施工手順で行った。

(1) セグメント部材の搬入

運搬を考慮したセグメント部材の分割位置を図 - 11 に、頂版端部材の荷姿を写真 - 5 に示す。頂版と側壁部材の分割位置を断面力の小さい下側位置で分割すると、頂版端部材を車両占有幅の大きな低床式の牽引車両で、1 本ずつ運搬することになる。また、安全性を優先すると通常の運搬車両を使用した方がリスクは少ないため、頂版端部材ブロック 2 本を台座付荷姿で、頂版中部材 2 本と側壁部材 2 本をそれぞれセットで平場荷台にて運搬した。

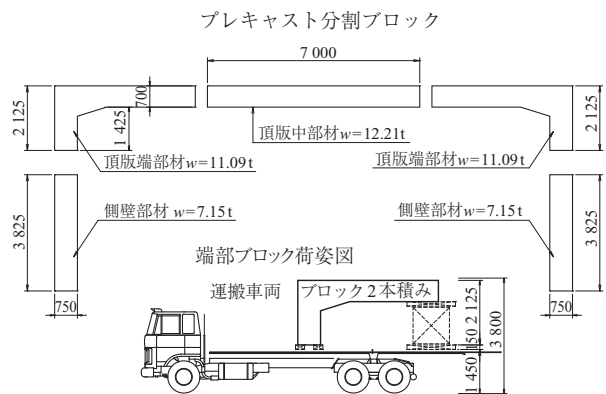


図 - 11 運搬時の分割ブロック図



写真 - 5 端部ブロック運搬荷姿

(2) セグメント部材の組立て

整地された現地ヤードに頂版のセグメント部材を仮置きし、緊張作業架台を設置した。作業架台は、部材が水平となるように高さ調整を行い仕上り高さを確認した。次に、架台上にてセグメント部材をセットした。接着剤の塗布状況と架台でのセグメント部材の組立て状況を写真 - 6, 7 に示す。



写真 - 6 接着剤塗布状況と接合キー



写真 - 7 セグメント部材の組立て状況

セグメント接合継目部の接合面には、エポキシ樹脂系の接着剤を均一に塗布後、接合キーを痛めないようにレバーブロックにて端部ブロックを引寄せた。

(3) 頂版部材へのプレストレス導入

架台での頂版部材緊張作業を以下に記述する。PC ケーブル挿入と緊張作業状況を写真 - 8 に示す。

主ケーブル 1S28.6 を 5 本挿入し、断面図心に近い位置から所定の順に緊張した。緊張作業は、片引き緊張とし、交互引きとなるように作業を行った。



緊張順序

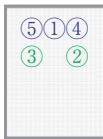


写真 - 8 ケーブル挿入状況と緊張作業状況

(4) 側壁部材の組立て

頂版部材の据付け前に、門形場所打ちフーチング部の側壁組立ヤードの両外側を整地し、架設用の足場組立てを行った。側壁部材の据付けでは、前準備として下接合面の高さを測量し、目地調整厚を決定した。側壁部材の接合および建込み状況を写真 - 9 に示す。

フーチングに先付けした PC 鋼棒の既設カップラーに、鉛直 PC 鋼棒を建込み、ガイド筒を先端に取付けた。下接合面の処理、無収縮モルタルにて不陸調整を行い、両側の側壁部材を引き起し、角欠けに注意しながら建込み、頂版部材と接合する側壁部材上面は接着材を均一に塗布した。



(a) 引き越し



(b) 下接合面



(c) 建込み

写真 - 9 側壁部材の建込み状況

(5) 頂版部材の架設・組立て

本工事の最大吊荷重となる頂版部材重量は、34.4 t であり、架設に必要な作業半径は 16 m であるため、200 t クレーンを使用した。架設時の平面図を図 - 12 に示す。

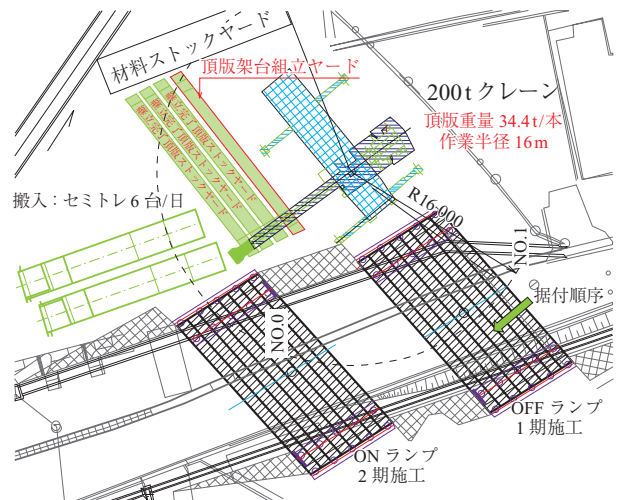


図 - 12 OFF ランプ架設時の平面図

なお、供用中の道路上における架設作業となるため、架設作業中は交通規制を行いながら安全面に最大限の配慮をし組立てを行った。また、施工延長方向の目地材である門形部材断面の端面のパッキングがズレないように注意し、鉛直鋼棒ガイド筒に沿って側壁部材の接合面上に架設した。頂版部材の架設状況を写真 - 10 に示す。



写真 - 10 頂版部材の架設状況

(6) 頂版部材と側壁部材の一体化

頂版部材の架設後、鋼棒ガイド筒を取りはずし、定着具を仮固定し、上下 PC 鋼棒を所定の緊張力の 1/2 で仮緊張した。次に、製品延長方向の目地を所定の目地幅になるように引寄せ作業を行い、上下 PC 鋼棒を所定の緊張力にて本緊張し一体化した。上記の工程を OFF ランプ 8 セット、ON ランプ 8 セット行い門形構造のカルバートを構築した。

最後に頂版部材の PC 鋼より線、上下接合の PC 鋼棒、縦連結の PC 鋼棒部全てにグラウトを充填し、定着部の防錆のためにカバーコンクリートで覆った。グラウト作業では、注排出口の目視確認のほか、センサー付きカップラーを使用し充填確認を行った。

後日、目地間の止水のために部材間の防水シートの施工を行い、一連の作業を完了させた。完成したプレキャスト門形カルバートの全景を写真 - 11 に示す。



写真 - 11 門形カルバートの全景

7. おわりに

2016年10月、超大型 PC 門形カルバートを含む本工事は無事竣工した。工事完了時の状況を写真 - 12 に示す。今回の施工事例のような過去に経験のない超大型のプレキャスト製 PC ボックスカルバートは、プレキャストセグメント PC 桁の技術と大型分割ボックスカルバートの技術を合わせることで、内空幅 15 m (斜長) の構造物を実現することができた。本報告が類似の工事での参考となるとともに、今後のボックスカルバートの更なる発展に寄与していくことに期待したい。

本投稿をするにあたり、多大なご協力とご指導をいただいた関係者の皆様に、深く感謝申し上げます。



写真 - 12 完成時状況写真

参考文献

- 1) 土木技術 62 巻 6 号 (2007.6) プレストレスコンクリート技術
プレストレスを導入した PCa 超大型ボックスカルバート「スーパーワイドボックス」
- 2) 日本道路協会：道路土工 - カルバート工指針 2010.3
- 3) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 2009.9
- 4) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2014.6

【2016年11月17日受付】