滑走路延伸に伴う高速道路ボックスカルバート化の取組み

大成建設（株）　正会員　○木下　拓哉
成田国際空港（株）　久保　司

１．はじめに

我が国の表玄関である成田国際空港(以下，成田空港）は，経済成長や地域の振興に貢献していく使命を果たすため，アジア各地の主要空港との激化する空港間競争を勝ち抜き，アジアの経済成長を取込むための「更なる機能強化」が必要である．

成田空港の「更なる機能強化」は，B 滑走路の 1000m 延伸および C 滑走路 3500m の新設を行うものである．このうち B 滑走路では，延伸する滑走路と供用中の東関東自動車道（以下，東関道）を立体交差化する必要があったため，現道部にボックスカルバートを設置して地下道化することとした（**図-1**）．

なお，現道部にボックスカルバートを設置することから，約 1.2 kmの迂回路を供用した後，現道部でカルバート工に着手した（**図-2**）．

本稿では，成田空港の滑走路延伸事業に伴う高速道路の立体交差化の取組みについて報告する．



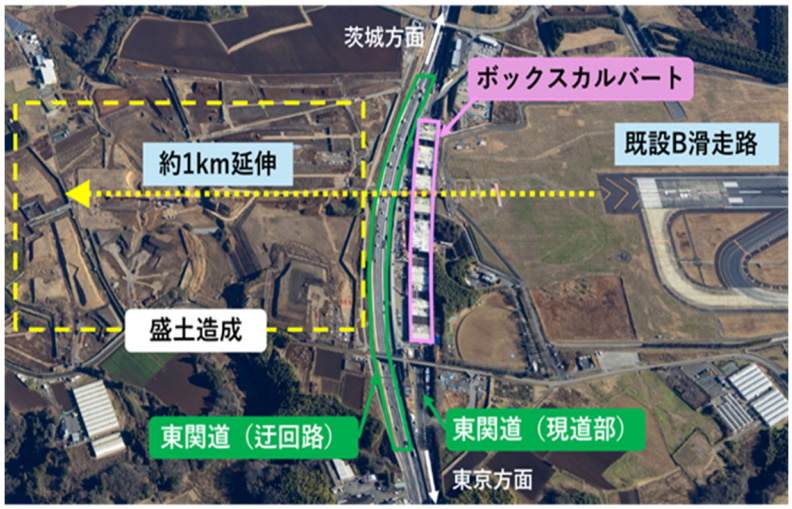


図-1 滑走路延伸事業の概要

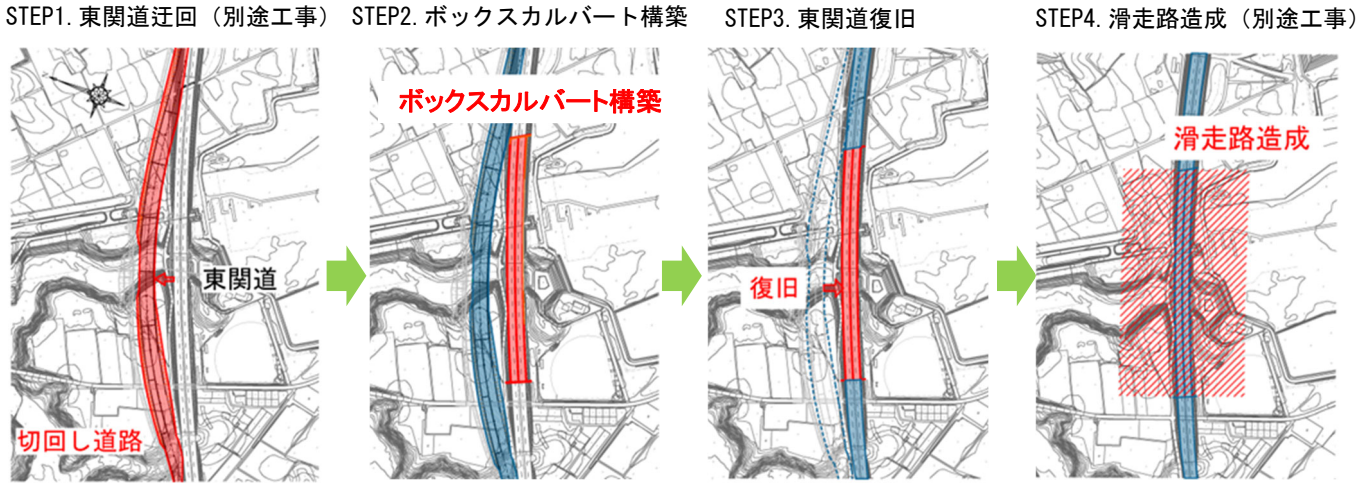


図-2 高速道路立体交差化のステップ

キーワード　開削トンネル，温度ひび割れ抑制，フルプレキャストカルバート，工程短縮，空頭制限
連絡先　〒286-0101 千葉県成田市十余三 111-22 大成建設(株)東関道地下道化(トンネル)工事作業所 ＴＥＬ0476-37-6725

２．工事およびボックスカルバートの概要

（1）工事概要

表-1 に，当工事の概要を示す．

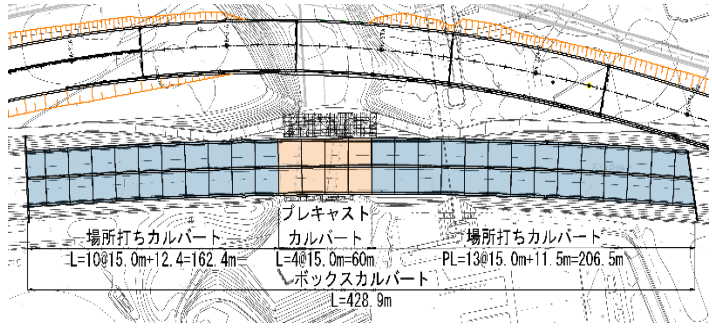
表-1　当工事の概要

工事名	B滑走路延伸部東関東自動車道地下道化その他工事
発注者	成田国際空港株式会社
設計者	パシフィックコンサルタンツ株式会社
関連事業者	東日本高速道路株式会社（道路管理者）
施工者	大成建設株式会社
施工場所	千葉県成田市小泉地先および十余三地先
技術協力業務期間	2022年11月29日～2024年3月15日（15.5ヶ月）
工期	2024年3月5日～2027年12月24日（48ヶ月）
主要工種	場所打ちカルバート工　368.9m
	プレキャストカルバート工　60.0m
	土留鋼矢板工（VL-7.5～13.0m）　878m

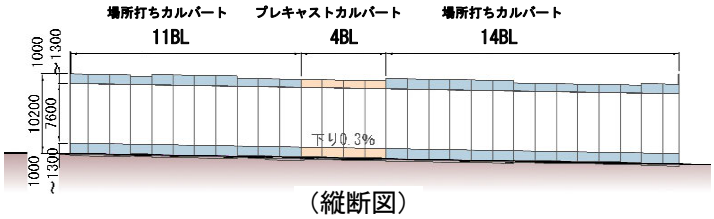
（2）ボックスカルバートの概要

図-3 に，ボックスカルバートの概要を示す．当工事は，技術協力業務（ECI）として発注され，ボックスカルバート全線を場所打ちとすることを提案した当社が，優先交渉権者に選定された．しかし，ボックスカルバート構築区間の中央付近は，原地形が谷地で，この区間の既往東関道は盛土で造成されていた．この盛土区間の東関道直下には，管理用道路と水路を兼ねた小規模なボックスカルバートが横断しており，当工事で新設するボックスカルバートに支障していた．詳細設計段階で，既設構造物の解体と谷地部に堆積する軟弱土の地盤改良が必要であることが分かり，技術協力業務（ECI）で検討した結果，この区間の構築開始時期が当初工程より3～4 ヶ月程度遅延することが分かったため，プレキャストカルバートを採用することとなった．以下に，ボックスカルバートの概要を示す．

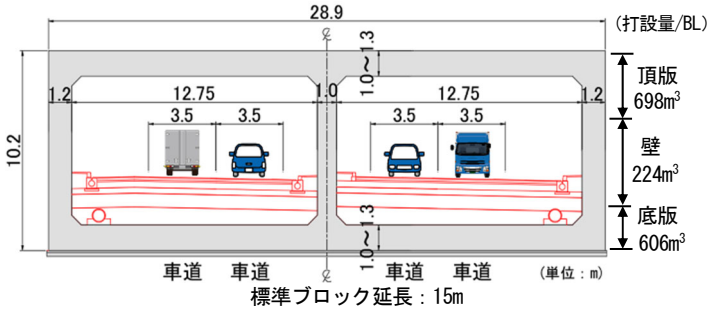
・全長　428.9m
・場所打ちカルバート工　L=368.9m
・プレキャストカルバート工　L=60.0m
・設計条件　コンクリート強度 σck＝30N/mm²
　　鉄筋　SD345・SD390
・設計断面および設計支持力
　① 航空機荷重作用断面：690kN/m²
　② 緑地帯荷重作用断面：670kN/m²
　③ 場周道路車両荷重作用断面：550kN/m²



（平面図）



（縦断図）



標準ブロック延長：15m
場所打ち部：25 ブロック・プレキャスト部：4 ブロック
配合：33-15-20N（膨張材入り）

（断面図）

図-3 ボックスカルバート概要図

（3）土質および地下水

図-4 に地質縦断図を示す．ボックスカルバート区間における東関道の縦断勾配は 0.3%である．床付面高は TP.+27.4m～+28.7m で， Ds1 層（上部洪積砂層）が分布している．床付面の設計支持力確認のため平板載荷試験を行うとともに，施工範囲中央付近の谷地部では地盤改良の発現強度が設計値以上であることを確認してカルバートを構築した．

地下水は被圧しておらず，既往調査における自然水位は，縦断勾配 0.3%で掘削する開削範囲のうち，床付高さが最も低い終点側で，床付面+30cm 程度という調査結果であった．しかし，空港敷地側に現地盤より高い滞留水があり，床掘りが地下水位以下での作業となるリスクがあった．そのため，土留には鋼矢板を採用し，最も床付面が低い終点側に，ディープウェルを 1 箇所設置して，ドライな状態で床付掘削を完了した．

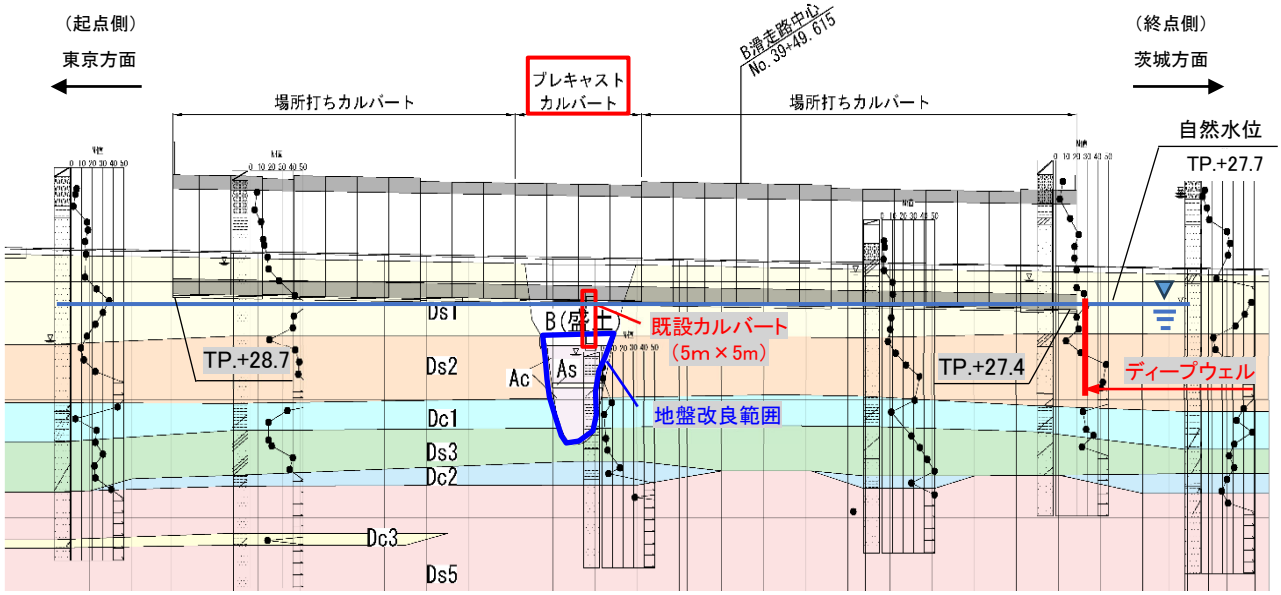


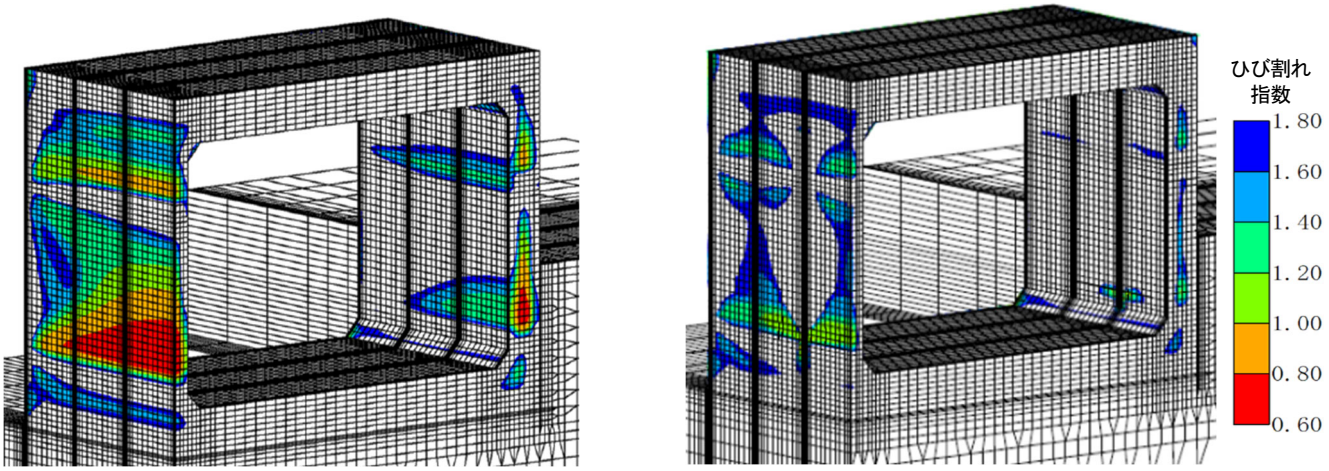
図-4　地質縦断図

3．場所打ちカルバート

場所打ちカルバートの施工における課題と，実施した対応策を以下に記す．

（1）カルバートの耐久性

【課題】本カルバートは，上部を滑走路，内部を高速道路として利用する重要構造物である．耐久性の確保には，劣化因子の侵入経路となるひび割れを抑制する必要がある．対象構造物は，内空断面が大きく部材がマッシブで，底版・壁・頂版の 3 回に分割して打設するため，特に温度ひび割れを抑制する対策が必要であった．そのため，技術協力業務で抑制対策を決定するための温度応力解析 **（図-5）** を行った．



【対策前】膨張材入り　　【対策後】膨張材＋誘発目地＋補強材

図-5　温度応力解析結果（ひび割れ指数コンター図）

【対応策】温度応力解析では，コンクリートへの膨張材添加を標準案とした．同規模断面の道路カルバートの事例を基に，ひび割れ指数 1.0 以上，ひび割れ推定幅 0.23mm 以下を目標値と設定し，これらを満足する 3 項目の追加対策を決定して実施した（写真-1，2）．

a） ひび割れ誘発目地の設置（5m 間隔）

b） ひび割れ指数 1.0 未満の領域にガラス繊維補強シートを設置

c） 鉄筋比 0.43%以上の確保

その結果，発生したひび割れは，誘発目地の間で 1～2 本に留まり，最大幅 0.25mm で概ね解析どおりの結果であった．なお，幅 0.2mm 以上のひび割れは注入工法で補修した．

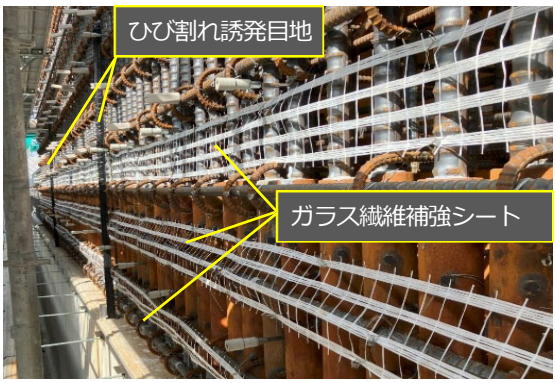


写真-1　温度ひび割れ対策

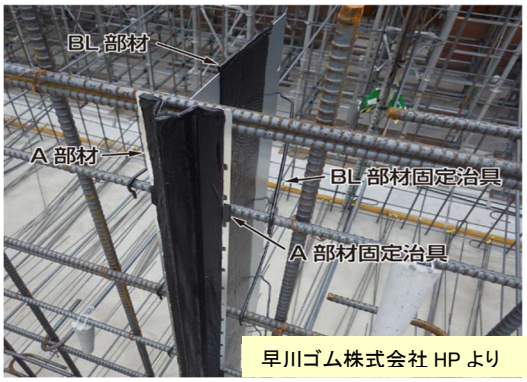


写真-2　ひび割れ誘発目地の例

（2）高密度配筋部位における品質確保

【課題】本カルバートの断面設計では，上部の滑走路施設の荷重条件の他に，滑走路の計画高さや，東関道の路面や排水設備の高さおよび建築限界の制約を受ける．これにより各部材の厚さが制限されるため，特に航空機荷重が作用する断面においては，鉄筋量が 324kg/m^3 と非常に多い．当工事における場周道路車両荷重作用断面（191kg/m^3）に比べ約 1.7 倍の鉄筋が配置されるため，ボックスカルバートの品質確保には，鉄筋の組立や継手およびコンクリート打設時の工夫が必要であった．

【対応策】底版や頂版の隅角部において，所定の精度での鉄筋組立や，確実なコンクリート充填・締固めが困難と想定されたため，以下の対策を行った．

a）3D モデルによる鉄筋組立シミュレーション

b）実物大試験施工（写真-3，4）による鉄筋の組立検証およびコンクリートの充填・締固め検証

実物大試験施工では，工程計画で設定した時間内での高精度な鉄筋組立の可否や，バイブレーター挿入・引抜きの可否およびスランプ 12cm と 15cm のコンクリート充填性を確認した．その結果，鉄筋が特に高密度に配置される隅角部の配筋を見直し，スランプは 15cm を採用することとした．これらの取組みにより，所要工程内に鉄筋を所定精度で組み立てることができ，躯体表面に欠陥を生じることなく躯体構築を完了した．



バイブレーター挿入・引抜確認　　充填性確認（SL=12cm, 15cm）

写真-3　実物大試験施工状況



写真-4　実物大試験体の充填状況確認

（3）工程確保

【課題】当工事でカルバートを完成させ，別途工事により東関道をカルバート内部に切り替えないと，後続の滑走路造成や諸設備工事が施工できない．施工においては空頭が制限された狭隘ヤードで，連続構造物を合理的に施工するために，種々の工夫が必要であった．

【対応策】当工事では，以下の対策を行った．

a）躯体専門業者 3 社によるエリア分割施工

確実に労務を確保し，エリア内での資機材の合理的な利用や転用を図る目的で，専門業者 3 社によるエリア分割施工を行った．構築最盛期には 1 日に約 300 名が従事した．

b） 底版・頂版上にミニクレーンを配置

当工事では，クレーン設置場所が下り線側のみに制限される．空頭制限に支障せず上り線側に資機材投入するために，底版や頂版上に 4.9t 吊クローラークレーンを配置した**（写真-5）**．躯体上でのミニクレーン作業に先立ち，作業計画をもとに応力照査を行い，躯体に影響が無いことを確認した．

c） 門型移動式の型枠支保工

型枠支保工を門型移動式の特殊構造**（写真-6）**としたことにより，型枠支保工の移動・転用に加え，底版上のミニクレーンやフォークリフトなどが支保工設置区間を走行できるようになった．これにより，支保工設置区間を通り抜けて資機材を移動・転用・搬出することが可能となり，工程計画の自由度が向上した．

これらの工夫により，コンクリート打設予定日を天候以外の要因で延期することなく，予定時期までに函体内部を次工事へ引き渡す見通しが得られた．



写真-5　頂版上ミニクレーン



写真-6　門型移動式の型枠支保工

4．プレキャストカルバート

プレキャストカルバートの施工における課題と，実施した対応策を以下に記す．

（1）製造・輸送

【課題】本カルバートは，片側 2 車線の高速道路として利用する 2 連カルバートである．内空断面は約 194m^2 で，フルプレキャスト構造では国内でも最大規模である．

各プレキャスト部材は，場所打ちカルバートの配筋要領をもとに設計されており，部材同士の接続には，道路横断方向主鉄筋の機械式継手を，縦断方向に PC 鋼棒を用いている．耐震設計の結果，延長 15m ごとの構造目地には，150mm の目開き・段差に対応できる可とう継手を採用した．

プレキャスト部材は，陸上輸送が可能な最大サイズに分割して製造する設計方針で，カルバート断面を 13 分割し，道路縦断方向の部材サイズは 1m で設計した．その結果，約 12t～23t の大型部材を 780 ピース製造することとした**（図-6, 表-2）**．

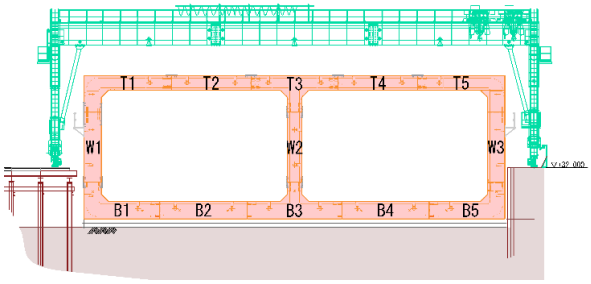


図-6　プレキャスト断面分割の概要

表-2　プレキャスト部材の重量

ブロック参考質量　（製品長L=0.990m当り）

頂版ブロック		底版ブロック		側壁・中壁ブロック	
T 1	19,260 kg	B 1	19,710 kg	W 1	13,470 kg
T 2	13,580 kg	B 2	17,940 kg	W 2	11,940 kg
T 3	19,280 kg	B 3	23,260 kg	W 3	13,470 kg
T 4	13,560 kg	B 4	17,910 kg		
T 5	19,260 kg	B 5	19,710 kg		
合計（1組当り）					222,350 kg

そのため，同規模部材の製造設備と実績を有し，設置工程に対応して製造・ストック・輸送が可能な工場の選定が課題であった．

【対応策】プレキャスト部材の製造は，千葉県内で実績を持つ製造会社を選定した．製造工場が工程計画に対する製造・ストック・輸送の実現性を検討した結果，選定した 1 社（2 工場）のみでは対応できないことが分かった．そこで，同社が幹事会社として，別の製造会社と製造委託契約（OEM 契約）を交わし，製造・輸送管理を統括する体制を構築し，合計 3 社 5 工場で製造した．

（２）組立計画

【課題】当工事のプレキャストカルバートは，カルバートの一部区間における工程短縮のために採用したため，組立計画においては，以下の課題を解決する必要があった．

a）組立計画の事前検証
b）場所打ち区間に対する工程影響の最小化
c）空頭制限下での組立計画
d）組立精度の確保

【対応策】各課題に対し以下の対応を行った．

a） 組立計画の事前検証

プレキャストカルバートの組立計画を事前検証し，実施工前に問題点を抽出して対応するために，道路延長 2m 区間の試験組立を行った．試験組立では，各部材の揚重・接続方法，所定位置への引寄せ方法等を検証した．その結果，組立・接続方法に問題が無いことを確認できた．

b） 場所打ち区間に対する工程影響最小化の工夫

プレキャストカルバートの施工方法は大別して以下の 2 つの方法がある．

1）組立ヤードでカルバート断面を組み立て，所定位置まで搬送・設置を繰り返す方法
2）所定の位置で各部材を組み立てる方法

当工事のプレキャスト区間は，場所打ち区間に挟まれており， 1）では複数の場所打ち区間が施工できなくなるため，2）の方法で施工した**（図-7）**．その際，高所作業車が効率良く稼働できるように底版を先行して組み立てた．また，頂版を仮受する支保工を移動式として移設時間を短縮した．

c） 空頭制限下での組立計画の工夫

搬入部材は，航空機の運航が無い 23:30～翌 5:20 にクローラークレーン（200t 吊）で荷下ろしして，門形クレーン（30t 吊）で組み立てることで昼間作業を可能とした．門形クレーンは，プレキャスト組立計画に対応した定格荷重 15t×2 フックとし，無線式リモコンにより 2 基のフックの同調操作と独立操作を切り替えられる仕様とした．ウインチには微速操作で組立時の微調整が可能なチェーンブロック式を採用した**（写真-7, 8）**．



写真-7　空頭制限下での作業状況

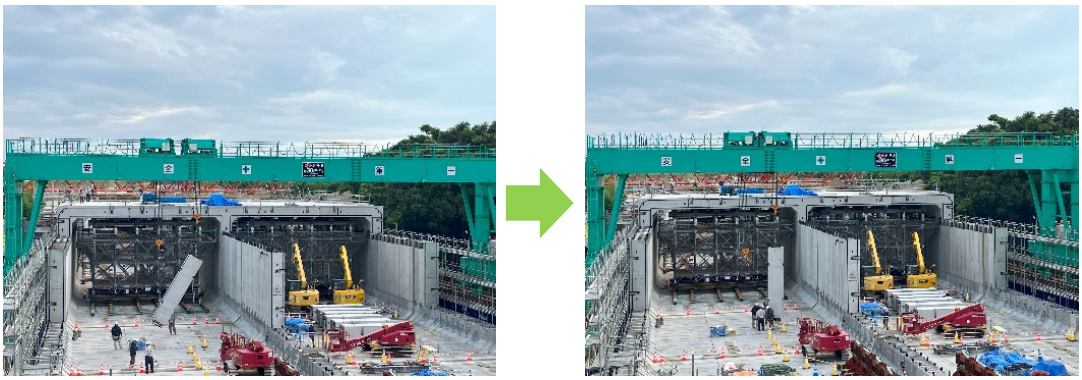


写真-8　2 基のフックによる壁部材建て起し状況

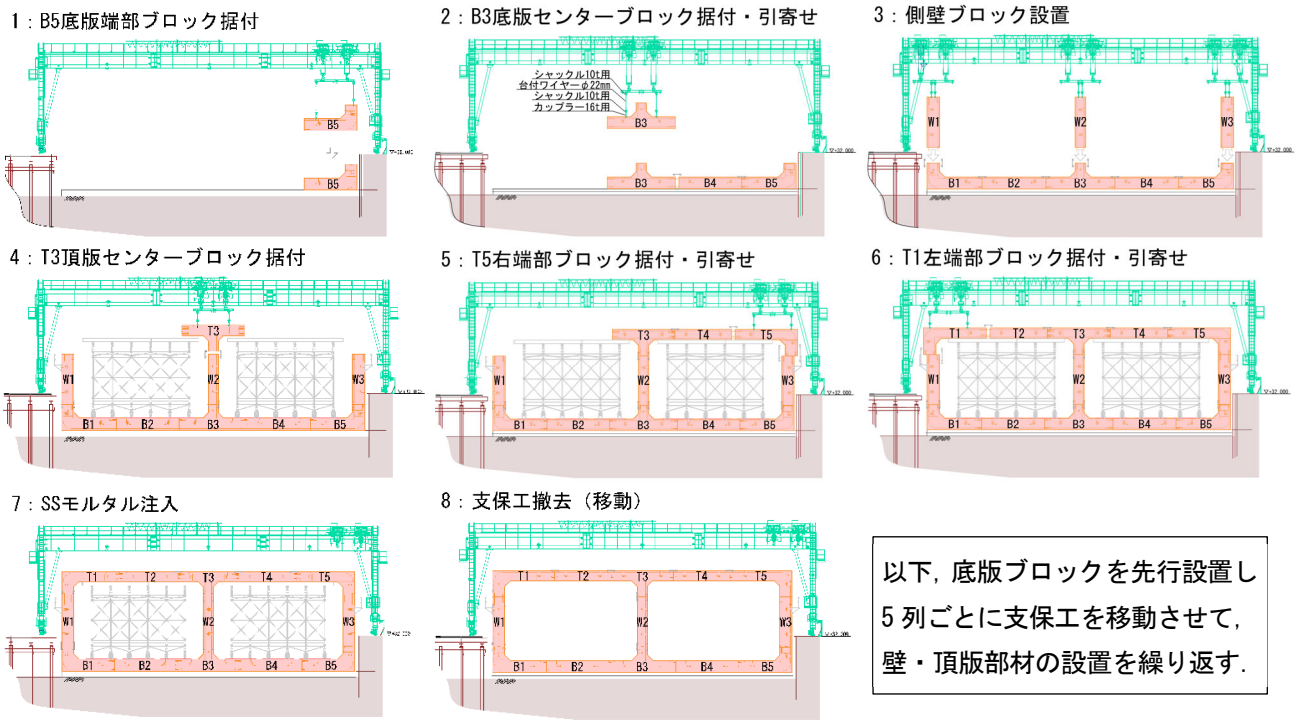


図-7　プレキャストカルバートの組立手順

d）組立精度確保の工夫

底版の高さの基準となるレール鋼材の設置

本工事では，底版部材の下には敷モルタルを敷設する．一般的にはライナープレートを設置して底版部材を支持するが，底版部材の位置調整時に層状に設置したライナープレートがずれて高さ精度が悪化する懸念がある．プレキャストカルバートの組立精度は，底版部材の高さと位置で決まるため，当工事では，各底版部材を 2 列のガイドレール鋼材で支持した**（写真-9，図-8）**．これにより，高さの精度を維持できるようにした．

部材設置時に生じる延長誤差への対応

一般に，プレキャスト部材の設置時には延長誤差（伸び）が生じる．そこで，事前に類似工事を調査した結果，目地 1 箇所当たり 1mm の伸びが生じることが判明した．そのため，路延長 1m の部材を 60 列組み立てる当工事では，60mm 程度の延長誤差が想定された．そのため，プレキャスト部材の組立開始位置を隣接する場所打ちカルバート側に 30mm セットバックし，場所打ちカルバート出来形への影響を起終点両側に分散させた．実施結果は，プレキャストカルバートの延長誤差は+68mm で，隣接場所打ちカルバートへの影響は 30mm，38mm となり，出来形管理基準の範囲内に収めることができた．

各プレキャスト部材位置の座標管理

上記のプレキャスト部材の組立精度を確保するために，各部材の組立位置を座標で管理し，誤差を累積させないように施工した．

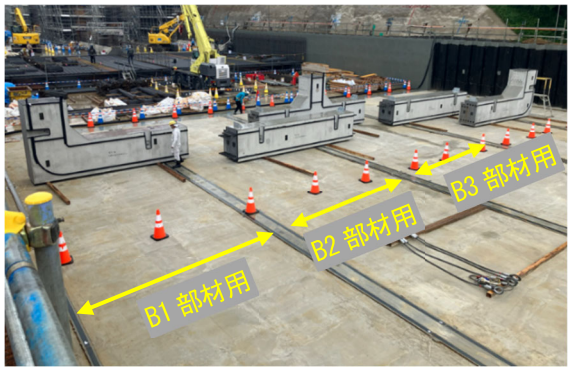


写真-9　底版部材のガイドレール鋼材

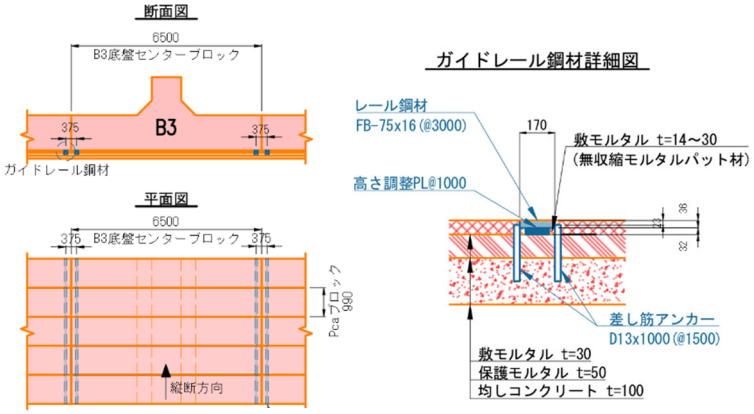


図-8　底版部材のガイドレール鋼材の概要

５．空頭制限および近接施工に対する安全対策

空港近接施工における課題と，実施した対応策を以下に記す．

【課題】空港近接工事では，航空機の航路に支障しないように制限高さが設定されている**（図-9）**．制限高さは，滑走路の延長上が最も低く，滑走路から離れるほど高くなる．工事においては，制限高さに対する離隔を確保して施工計画を立案し，発注者や航空局の承認を得て施工を行う（制限高さに抵触する場合は航空機の運航停止時間帯の作業となる）．当工事エリアは航路と交差する位置関係にあり，制限高さが場所によって異なるため，ブーム高さの管理が必須である．

【対応策】クレーンブームが制限高さに抵触しないように，運転席で揚程リミッターをセットし，ブーム稼働範囲を機械的に制御した．また，リミッターセット時のヒューマンエラー防止のために，クレーン設置地盤からの制限高さを現場に表示するとともに**（写真-10）**，元請職員がリミッターセット値を運転席モニタで確認し，地盤からブーム先端までの高さを巻尺でダブルチェックした**（写真-11）**．

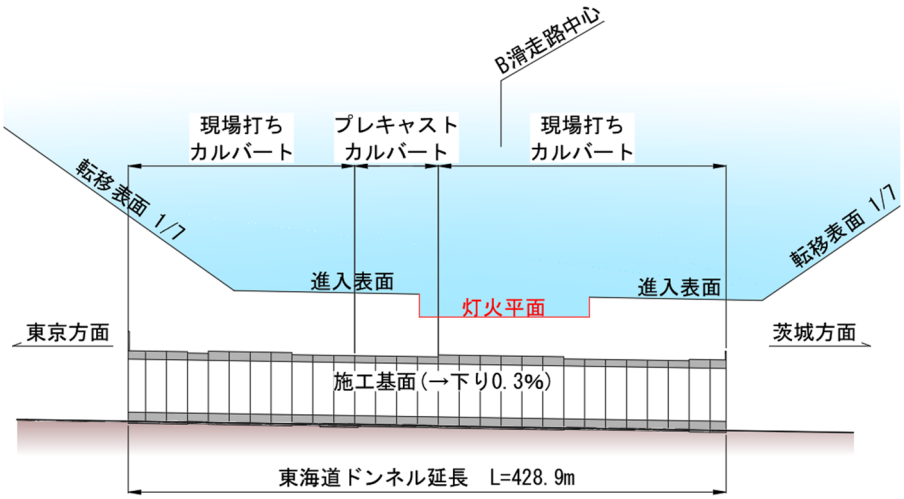


図-9　制限高さの概要



写真-10　制限高さの現地表示



写真-11　リミッターセット状況の確認

6. まとめ

以上のように，品質・工程・安全を確保するための取組を行い，B 滑走路延伸事業のクリティカル工事である高速道路の立体交差化は，現在順調に進んでいる．

当工事は，品質や工程および安全面における技術的課題が多いため，技術協力業務として発注された．詳細設計段階から施工者の施工計画を取り入れたことや，施工段階で生じた新たな課題に，発注者と一体となって取り組んでいることが，工事が順調な進捗に繋がっている．

本稿が，同様な事業や施工における一助となれば幸甚である．