

トンネルと地下

Tunnels and Underground

2024

3

Vol.55

No.3



シールドトンネルの掘進管理と突発事象対応

小土かぶりの崖錐堆積物と断層破砕帯区間を各種補助工法を駆使し突破

超大断面(世界最大級485m²)を都市NATMで挑戦(1)

部分プレキャスト化による開削トンネルの工程短縮とDX推進

爆薬遠隔装填システムを用いた発破効率向上に関する一考察

日本トンネル技術協会誌

部分プレキャスト化による開削トンネルの工程短縮とDX推進

—国道246号渋谷駅周辺整備 渋谷駅西口地下道—

国土交通省東京国道事務所工務第一課課長

豊村 秀樹

東急建設(株)東日本土木支店土木部R2国道246号渋谷駅周辺地下道工事作業所監理技術者

折田 紘一郎

東急建設(株)技術研究所土木構造グループ首席研究員

笠倉 亮太

旭コンクリート工業(株)技術・設計開発部部長

岸 秀樹

1 はじめに

国道246号渋谷駅周辺は、商業・業務施設が集中する日本を代表する街の一つであるが、人や車の集中により混雑の常態化や鉄道・バスなど公共交通の乗り換えが不便であるなどの課題を抱えている。一方で駅周辺では100年に一度と呼ばれる民間再開発が進められており、併せて歩行者ネットワークの構築や公共交通の乗り換え利便性向上を図る取組みが進められている。

その取組みの一環として、「R2国道246号渋谷駅周辺地下道工事」において、渋谷駅西口交差点での地下道工事を施工している。

本工事は、国道直下に地下歩道、地下車路を開削工法により構築するものであり、地下車路は、隣接再開発事業の竣工時期を考慮し早期に躯体構築の完成が必要な工事である。

そこで、本工事では、躯体の一部区間において部分プレキャスト部材を用いた大型ボックスカルバートのプレキャスト化工法「PPCaボックスカルバート」を採用し、工程短縮を図るとともに、初めての現場適用における施工計画の深度化、関係者間の意思疎通の効率化を図ることを目的に4Dシミュレーション、VR技術を用いた施工計画

の立案を実施した。本稿では、本工事において採用したPPCaボックスカルバートの現場初適用事例および施工計画に用いたDX推進事例について報告する。

2 工事概要

本工事の概要を表-1に示し、渋谷駅周辺整備事業の整備イメージを図-1、現場概要を図-2に示す。

本工事は、首都高速3号渋谷線の高架橋橋脚や渋谷共同溝に近接する中、土留め・掘削工事を行い、国道246号の渋谷駅西口交差点直下にて躯体を構築する。このため、覆工板の中間杭や土留め

表-1 工事概要

工 事 名	R2国道246号渋谷駅周辺地下道工事
発 注 者	国土交通省関東地方整備局
受 注 者	東急建設(株)
工 事 箇 所	自)東京都渋谷区渋谷二丁目地先 至)東京都渋谷区桜丘町地先
工 期	自)2020年7月21日 至)2024年3月29日
工 事 内 容 (西口地下道)	工事延長：240m、掘削幅 [※] ：24.25m 掘削深さ [※] ：16.1m、掘削工：17,600m ³ 埋戻工：9,200m ³ 、コンクリート：4,700m ³ 鉄筋：800t、歩道橋下部工：2基 舗装工：2,500m ² ほか

※：一般部

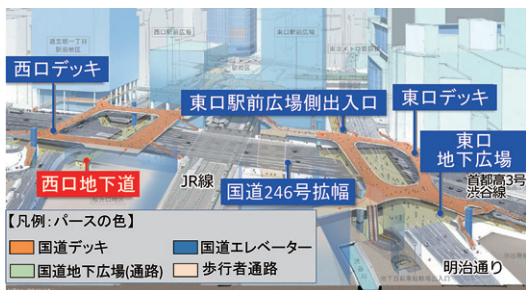


図-1 渋谷駅周辺整備事業の整備イメージ

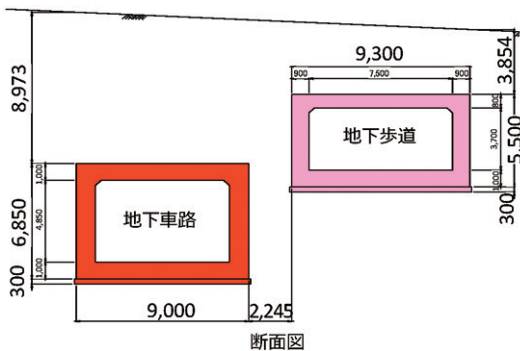
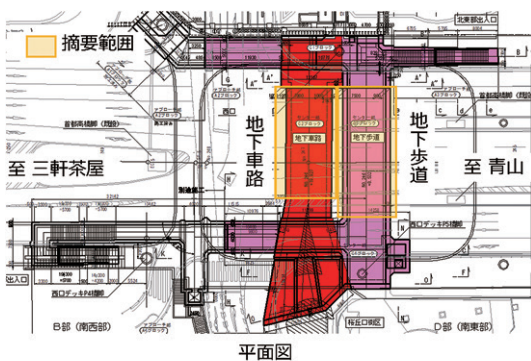


図-2 現場概要図

支保工、国道の車線規制による交通の確保、地下から上空に存在する近接構造物など、さまざまな制約を受ける厳しい条件での施工が必要とされた。そのため、現場作業の省力化による工程短縮や支保工の省略による空間的利便性において有利と考えられるPPCaボックスカルバートを適用し、地下車路、地下歩道を構築することとした。

3 PPCaボックスカルバートの概要

PPCaボックスカルバートの概要を図-3、施工手順の概要を図-4に示す。

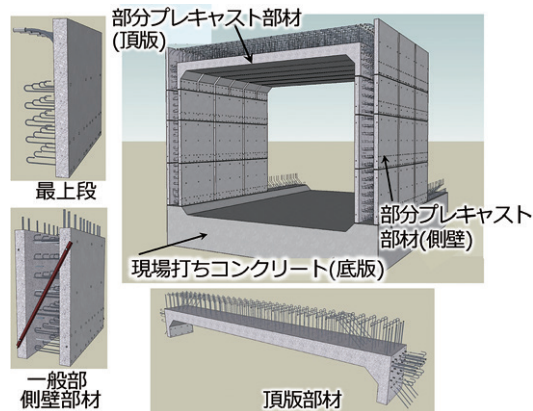


図-3 PPCaボックスカルバートの概要

本工法は、現場打ちボックスカルバートの側壁および頂版を部分的にプレキャスト部材に置き換えたPartial PreCast構造である。ボックスカルバートの側壁を構成する部分プレキャスト部材は、壁の内側と外側をそれぞれプレキャスト化したものであり、内側、外側を工場にてユニット化して現場へ搬入する。頂版を構成する部分プレキャスト部材は、頂版下側をプレキャスト化している。側壁、頂版の部分プレキャスト部材には、各種鉄筋が内蔵されており、機械式継手により部材の接合を行い、一部の鉄筋、型枠を組み立てた後、中詰めコンクリートを打ち込むことで躯体を構築する。

部分プレキャスト化により、部材の軽量化を図ることで、大型ボックスカルバートのプレキャスト化を実現している。本工法は、現場での鉄筋組立工、型枠組立・解体工を削減するとともに、プレキャスト頂版部材が、施工時荷重を負担するため、頂版コンクリート打込み時の支保工の削減が可能な工法である^{1),2)}。

また、現場打ちコンクリートで構築したボックスカルバートと比べ同等以上の耐荷力と変形能を有し、断面諸元の変更や構造計算をせずに適用可能な工法である³⁾。

4 PPCaボックスカルバートの地下道工事への適用

4-1 PPCaボックスカルバートの適用

前述のとおり、本工事で構築する地下車路は隣

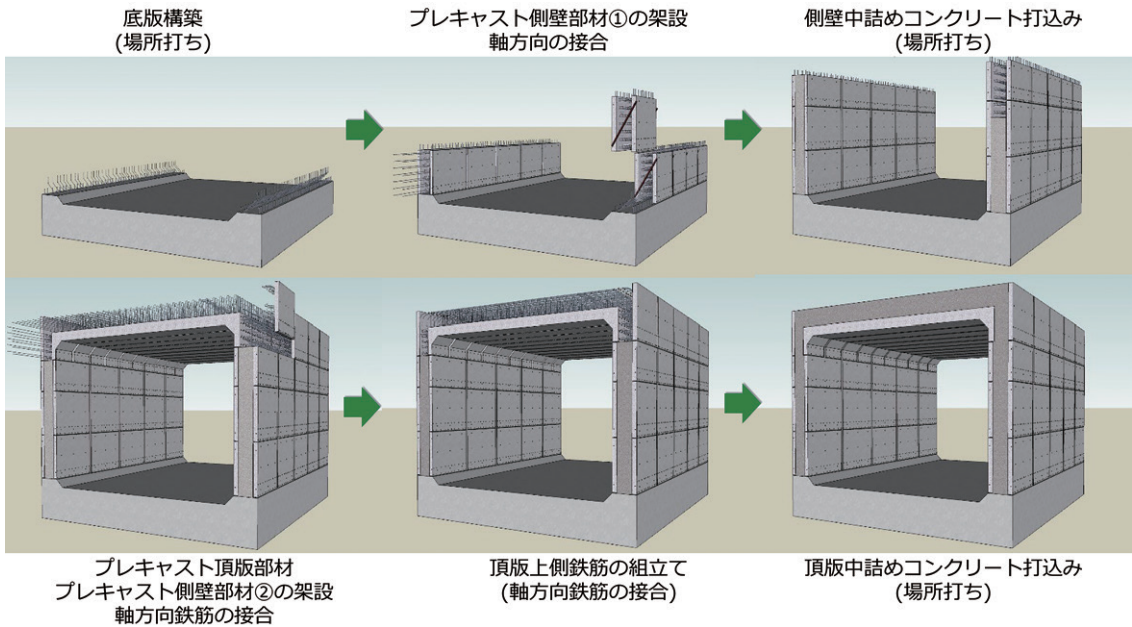


図-4 施工手順の概要



(a) 地上部

(b) 地下部

写真-1 施工箇所の状況

接再開事業の竣工時期を考慮し、早期に躯体構築が必要であった。

現場打ちボックスカルバートの部材寸法や鉄筋量などを変更せずに構造性能が担保でき、かつ工程短縮が見込まれる本工法を適用した。

4-2 基本計画

本工事の地上部、地下部の状況を写真-1に示す。

本工法は、図-4に示す手順で揚重機などによる架設、組立を行うことで躯体を構築することを基本としている。しかしながら、本工事では、国道交差点直下の工事であり、直上の国道を完全通行止めとすることができず、任意の位置に揚重機を配置し、部分プレキャスト部材の架設、組立を実施することができない。また、幹線道路である国

道246号の車線規制を最小限とする必要がある。このため、プレキャスト部材の路下投入箇所を一か所に限定し、夜間に路下投入することとした。加えて、路下には中間杭が存在することから、路下投入後に、横引き台車と専用架台による横引き運搬にて所定の位置に設置する計画とした⁴⁾。

地下車路におけるプレキャスト部材の割付けを図-5に示す。地下車路、地下歩道ともに本工法の適用箇所は、プレキャスト部材の工場製作時の型枠台数削減のため、断面変化のない直線部のみとし、地下車路での施工延長は21.7m、地下歩道では25.7mである。カルバート断面に対するプレキャスト部材の割付けは、路下での横引き運搬回数低減のため、側壁部材は高さ方向に分割せず、

中間杭に支障する頂版部材のみ幅員方向に分割した。カルバートの延長方向は、投入開口寸法を考慮した12または14分割とし、プレキャスト部材間には部材の連結、据付精度確保のため、延長方向に100mm程度の隙間を設けている。また、横

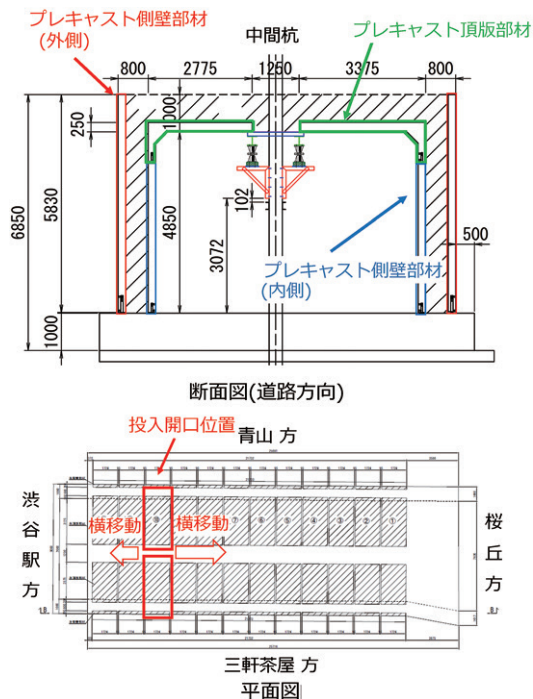


図-5 プレキャスト部材の割付け

引き運搬は、片側の側壁と頂版を路下投入後に仮固定し、中間杭を境とした左右にブロック化した後に行う計画とした。

4-3 VR×4Dシミュレーションによる施工計画

PPCaボックスカルバートは、本工事への適用が初物件であり、適用前例のない工法を施工制約のきわめて高い渋谷の国道246号直下で施工するためには、精度の高い施工計画が必要であると考えられた。基本計画時は図-6に示す従来の断面、平面からなる2D図面で施工計画を立案していた。しかしながら、地上では首都高、歩道橋に囲まれた狭隘な箇所での重量物の揚重作業や幹線道路の車線規制による限られた投入開口位置や規制時間、路下では、密な土留め支保工環境での横引き運搬など、空間的、時間的制約による施工時のリスクの洗い出し不足が懸念された。このため、3Dモデルに時間軸を加味した4Dシミュレーションにより空間的、時間的制約により発生するリスクの抽出を実施した。

3Dモデルは、現場条件を仮想空間上に再現するため、設計図面に現地地点群データを合成して作成した。点群データの一例と作成した3Dモデルを図-7に示す。3Dモデルでは、部分プレキャスト

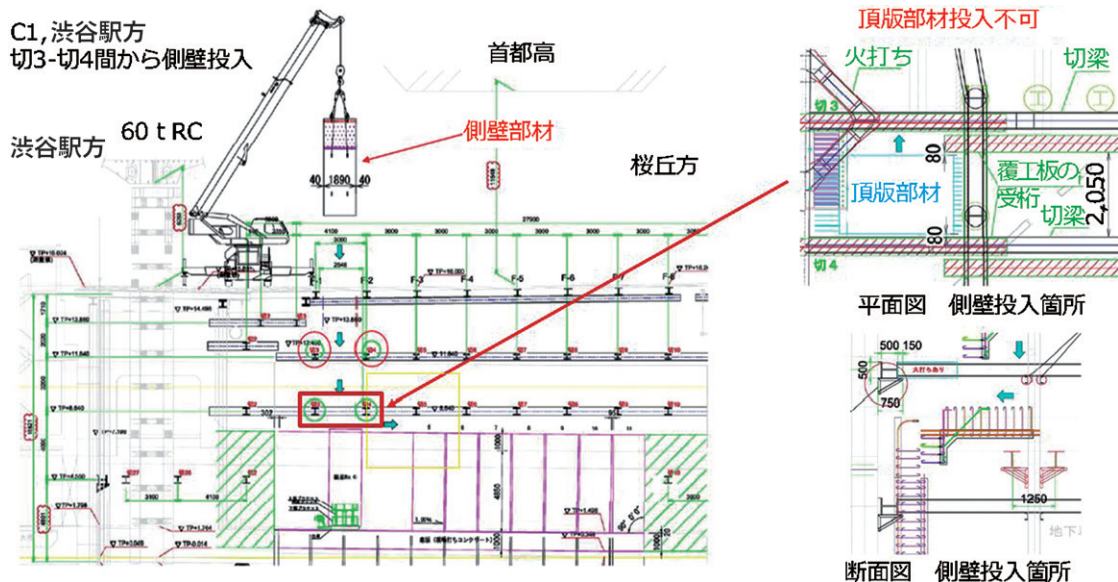


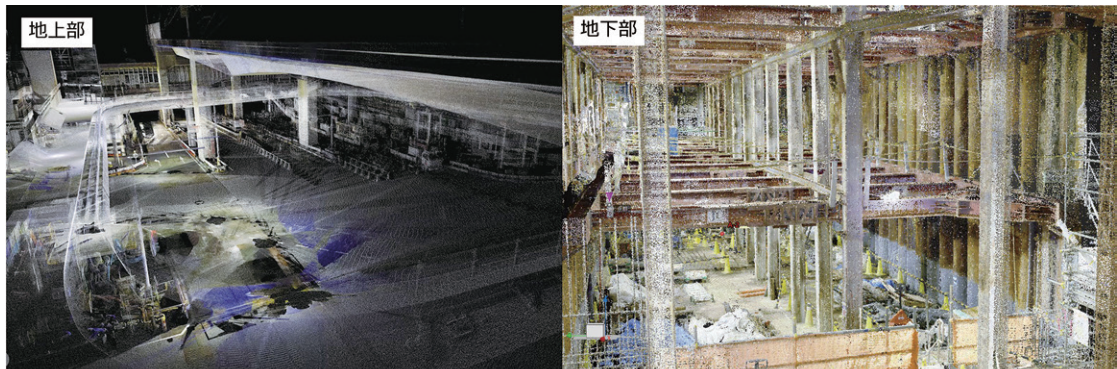
図-6 2Dによる施工計画

ト部材の運搬から路下投入，横引きまでの近接構造物や中間杭をはじめとした土留め支保工との干渉チェックのための事前シミュレーションを実施し，投入開口の位置，部分プレキャスト部材の寸法，割付け，据付け順序などのチェックバックを行い，空間的制約条件のリスクヘッジを行った。また，国道車線規制に時間的制約が生じることから，時間工程検証のため，ゲームエンジンによるモーション設定を行い，**図-8**に示す4Dシミュレーションも実施した。加えて，**写真-2**に示すVR技術により工事関係者への情報共有による施工計画の深度化を図った。

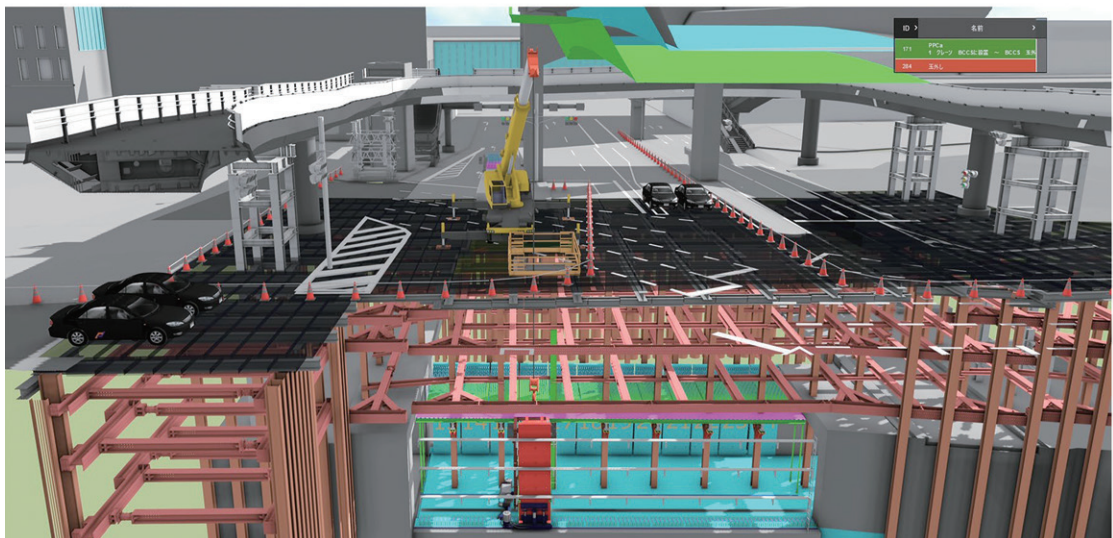
本工事において，以上のICT技術を活用するこ

とで，プレキャスト部材の寸法，分割位置，据付け順序や作業手順および施工歩掛を反映した施工計画の立案が可能となった。本工事で実施したDX推進事例により得られた知見を以下に示す。

- ・プレキャスト部材と近接構造物，土留め支保工などの干渉確認による設計時の不整合防止。
- ・プレキャスト部材の投入位置，順序および時間工程の検証による施工の最適化。
- ・施工手順の可視化によるイメージの共有，スムーズな情報共有。
- ・危険箇所の抽出，安全対策の実施。
- ・施工時における道路利用者からの信号視認性や安全確認。



(a) 点群データ



(b) 3Dモデル

図-7 点群データと3Dモデル



図-8 4Dシミュレーション



写真-2 VRによる施工検討

5 施 工

5-1 施工状況

プレキャスト部材の工場製作から施工の状況を写真-3に示す。本工事では、地下車路の構築、一部埋め戻しののち、地下歩道の構築を行った。地下車路、地下歩道ともに、プレキャスト部材は路下投入位置から、桜丘方へ横引き運搬している(図-5参照)。投入開口は、国道の車線規制から地下車路、地下歩道の端部に位置しないため、投入開口付近まで部分プレキャスト部材を設置したのちに運搬台車を回転させ、横引き方向を渋谷駅方へ回転した。投入開口に位置するプレキャスト部材は、横引き台車を解体し、最後にクレーンによる直接

投入にて据付けを行った。

部材据付け時には、底版に埋め込まれた側壁軸方向鉄筋に対し、プレキャスト部材に設置されたモルタル充填継手のスリーブを挿入する必要がある。高い精度管理が必要であったが、鉄筋のガイドプレートを設置することで、スリーブの挿入が比較的容易にできた。以上、前述のDXによる綿密な施工計画により実施は大きな問題なく完了した。完成写真を写真-4に示す。

5-2 場所打ちコンクリートとの比較

場所打ちコンクリート(従来工法)での施工においては、地下車路、地下歩道と接続されるボックスカルバートとの工程干渉および支保工の転用を想定しており、地下車路、地下歩道ともにカルバート延長方向に2分割して、躯体を構築する予定であった。本工法を適用することで、従来工法と比較して約50%の工程が短縮できた。また、VR×4Dシミュレーションの効果により、地下車路では当初1ブロック(側壁+頂版)/日で想定していた施工サイクルは最大3ブロック/日となり、プレキャスト部材の据付け工程を約40%短縮することができた。2D施工計画に対する4Dシミュレーションによる部材据付け工程、これを踏まえた施工実績を表-2に示す。

以上より、地下車路は2023年1月、地下歩道は



プレキャスト部材製作(側壁部材)



プレキャスト部材製作(頂版部材)



コンクリート打込み



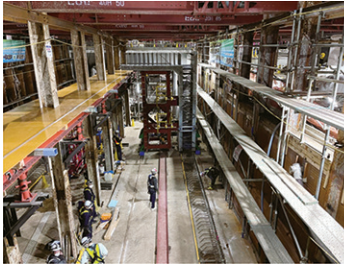
側壁の軸方向鉄筋のガイドプレート



底板コンクリート打込み



路下投入



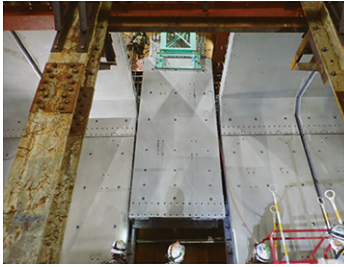
運搬台車への固定, ジャッキアップ



横引き運搬



ジャッキダウン, 裾付け



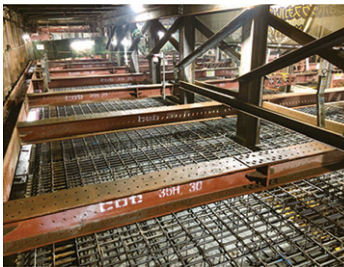
クレーンによる直接投入(側壁)



プレキャスト部材据付け完了



部材接合(モルタル充填継手)



頂版上側鉄筋組立



型枠組立(プレキャスト部材間)



頂版コンクリート打込み

写真-3 施工状況



写真-4 完成写真(地下車路)

2023年7月に躯体構築を完了し、再開発事業の竣工時期を考慮した早期の躯体構築が完了した。

6 おわりに

本稿では、部分プレキャスト部材を用いたボックスカルバートの構築工法「PPCaボックスカルバート」の現場適用における施工計画立案時のDX推進事例について報告した。

本工法の適用現場では、事前に3Dモデル、4DシミュレーションおよびVR技術を用いることで、効率的な施工を実施するためのプレキャスト部材の寸法、分割位置、据付け順序や作業手順および施工歩掛を反映した施工計画の立案が可能となった。また、施工手順を可視化することで、工事関係者への情報共有による施工計画の深度化、関係

表-2 部材据付けの比較(平均)

項目	地下車路(ブロック/日)	
部材据付け工程	2D計画	1.00
	4D計画	2.40
	実績	1.60

者間の意思疎通の効率化を図ることができた。

本工事では、工程短縮のために採用したプレキャスト工法の施工計画をさまざまなICT技術を用いて立案した。本稿がDXの推進の参考となるとともに、今後の関連工事の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 笠倉亮太・黒岩俊之・福田俊・岸秀樹：部分的にプレキャスト部材を用いたRC壁部材の正負交番載荷試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.2，pp.607-612，2022。
- 2) 笠倉亮太・鈴木将充・黒岩俊之・早川健司・岸秀樹・福田俊・坂元直也：部分プレキャスト部材を用いたボックスカルバートの施工試験，第77回土木学会年次学術演習会概要集，V-302，2022。
- 3) 先端建設技術センター：先端建設技術・技術審査証明報告書PPCaボックスカルバート，2021。
- 4) 笠倉亮太・折田絃一郎・中山亘：「PPCaボックスカルバートの開発」部分プレキャスト部材を用いたボックスカルバートの構築工法，土木施工Vol.64，No.5，pp.100-103，2023。



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 定価2,200円(本体2,000円+税10%)

本書では、抽出した34のセグメントを名称、特徴、開発目的、適用範囲などを同じフォーマットにより整理分類しまとめた一冊となっている。

好評発売中