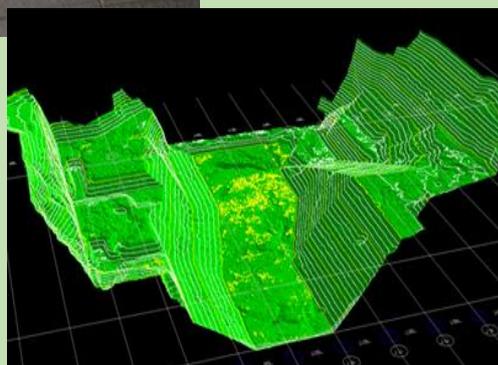
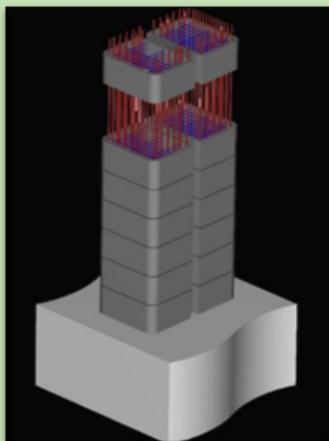


生産性向上事例集

～土木編～



目次

I 建設プロジェクトにおける生産性向上事例

- (1) 【国土交通省 中国地方整備局】鳥取自動車道 智頭用瀬トンネル南工事 (株式会社安藤・間) 2
- (2) 【国土交通省 中部地方整備局】佐久間道路浦川地区第1トンネル新設工事 (株式会社大林組) 4
- (3) 【横浜市交通事業管理者】関内駅ほか構築補修工事 (株式会社奥村組) 6
- (4) 【国土交通省 北海道開発局】日高自動車道 新冠町 大狩部トンネル工事他 (鹿島建設株式会社) 8
- (5) 【国土交通省 東北地方整備局】一関遊水地 舞川水門新設工事 (株式会社鴻池組) 10
- (6) 【国土交通省 近畿地方整備局】紀北西道路北別所高架橋上下部工事 (五洋建設株式会社) 12
- (7) 【国土交通省 関東地方整備局】ハッ場ダム本体建設工事 (清水建設株式会社) 14
- (8) 【鉄道・運輸機構 大阪支社】北陸新幹線、八日市川橋りょう他 (株式会社銭高組) 16
- (9) 【農林水産省 北陸農政局】新川流域二期 (一期) 農業水利事業 旧木山川排水機場建設工事
(大成建設株式会社) 18
- (10) 【首都高速道路株式会社】(修) 上部工補強工事 1-109 (株式会社竹中土木) 20
- (11) 【鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局】北海道新幹線 渡島トンネル (天狗) 他 (鉄建建設株式会社) 22
- (12) 【国土交通省 近畿地方整備局】大阪港北港南地区航路 (-16m) 附帯施設護岸 (1) 等基礎工事
(東亜建設工業株式会社) 24
- (13) 【国土交通省 中部地方整備局】平成 26 年度飛島大橋右岸下部工事 (東急建設株式会社) 26
- (14) 【国土交通省 九州地方整備局】細島港 (外港地区) 防波堤 (南沖) 築造工事 (東洋建設株式会社) 28
- (15) 【国土交通省 中部地方整備局】平成 30 年 302 号緑地共同溝内部構築工事 (戸田建設株式会社) 30
- (16) 【国土交通省 東北地方整備局】宮古盛岡横断道路 岩井地区トンネル工事 (飛島建設株式会社) 32
- (17) 【国土交通省 中部地方整備局】平成 24 年度佐久間道路東栄地区第1トンネル工事 (西松建設株式会社) 34
- (18) 【農林水産省 北陸農政局】柏崎周辺 (二期) 農業水利事業市野新田ダム第二期建設工事 (株式会社フジタ) 36
- (19) 【国土交通省 東北地方整備局】国道 45 号 新鍬台トンネル工事 (前田建設工業株式会社) 38
- (20) 【国土交通省 東北地方整備局】国道 45 号 夏井高架橋工事 (三井住友建設株式会社) 40

II 生産性向上を進めるうえで成果のあった事例

1. ICT を活用した事例

- (1) ICT 施工による生産性向上の取組み (株式会社安藤・間) 43
- (2) トンネル出来形管理の ICT 化 (株式会社奥村組) 45
- (3) IoT を活用した「現場の見える化」(鹿島建設株式会社) 47
- (4) ICT 建機の活用による生産性向上 (株式会社熊谷組) 49
- (5) 音声入力機能付き水準測量支援アプリケーションを用いた業務効率化 (株式会社熊谷組) 51
- (6) 五洋土工情報収集システム (i-PentaCOL) による生産性向上 (五洋建設株式会社) 53
- (7) 重量物鉄筋組立の生産性向上 (配筋アシストロボ) (清水建設株式会社) 55
- (8) i-Construction の流れに沿った現場打ちコンクリートの生産性向上 (大成建設株式会社) 57
- (9) 全自動施工管理が可能な小型地盤改良機による生産性向上への取組み (株式会社竹中土木) 59
- (10) 鉄道施工計画における 3 次元モデルの活用 (鉄建建設株式会社) 61
- (11) CIM 導入による生産性向上の取組み (東亜建設工業株式会社) 63
- (12) 栈橋建設工事における設計、施工段階での CIM の活用 (東洋建設株式会社) 65
- (13) ICT 活用した造成工事における生産性向上の取組み (西松建設株式会社) 67
- (14) クラウドを活用しすべての現場を効率的に管理 (株式会社フジタ) 69
- (15) ドローンによる測量で切盛土工事の日々の出来高管理に適用 (株式会社フジタ) 71
- (16) ICT 活用による生産性向上の取組み (前田建設工業株式会社) 73
- (17) BIM/CIM 活用による生産性向上の取組み (前田建設工業株式会社) 75
- (18) トンネル分野における生産性向上の取組み (三井住友建設株式会社) 77

2. ICT 活用以外の事例

- (1) コンクリート構造物の施工における生産性向上への取組み (株式会社大林組) 79
- (2) 山岳トンネルの掘削ずり運搬の高速化 (株式会社奥村組) 81
- (3) 伸縮可能な鉄筋かごを用いた「ストランド場所打ち杭工法」を初適用 (鹿島建設株式会社) 83
- (4) 爆薬の遠隔装填システム (株式会社熊谷組) 85
- (5) 創意工夫による生産性向上の取組み (株式会社鴻池組) 87
- (6) システム型枠工法と高強度せん断補強筋による生産性向上への取組み (五洋建設株式会社) 89
- (7) プレキャスト構造の採用による生産性向上の取組み (清水建設株式会社) 91
- (8) 急峻地でのトンネル施工における生産性向上の取組み事例 (株式会社銭高組) 93
- (9) UFC ホロー桁の適用による効率的な鉄道橋架替え工事 (大成建設株式会社) 95
- (10) プレキャストボックスカルバートによる生産性向上 (株式会社竹中土木) 97
- (11) 「PC 桁セグメント運搬台車」を使用した生産性向上 (東急建設株式会社) 99
- (12) シート敷設の海上・海中作業の機械化 (東洋建設株式会社) 101
- (13) 鋼桁と RC 床版のずれ止め切断に関する研究 (飛島建設株式会社) 103
- (14) 地下貯留式調整池の施工における生産性向上の取組み (西松建設株式会社) 105
- (15) 橋軸方向プレストレス・壁高欄一体化による取替床版の施工性向上 (前田建設工業株式会社) 107
- (16) 鷺見橋工事 (II 期線) の上下部工における生産性向上への取組み (三井住友建設) 109

I 建設プロジェクトにおける生産性向上事例

《事例紹介表の記載例》

会社名		工事種類分類		
工事件名		発注者名		
取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. BIM	C. フロントローディング	D. 携帯タブレット端末
	E. PCa	F. 協力会社との協働	G. 工業化・省力化工法	H. コンカレント設計
	I. 教育、教宣	J. 業務効率化	K. その他()	

《主要な用語の解説》

■BIM (Building Information Modeling) /CIM (Construction Information Modeling & Management)

設計や施工を進めるためにコンピュータ上に構造物の3次元の形状情報に加え、材料・部材の仕様・性能、仕上げ等の属性情報を併せ持つ構造物情報モデルを構築すること。

■NATM (New Austrian Tunneling Method)

トンネル周辺地山の支保機能を有効に活用し掘削後吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工等により地山の安定を確保して掘進する工法

■PC (Prestressed Concrete)

プレストレストコンクリートは、使用時に発生する引張応力を相殺するよう、プレストレスとしてコンクリートにあらかじめ圧縮応力を与える工法

■PCa (Precast Concrete)

プレキャスト工法。コンクリートは通常、現場で型枠に合わせて成型するが、プレキャスト工法では、工場で事前に成型されたコンクリート部材を現場でつなぎ合わせる。

■フロントローディング：

後工程の業務を先行して検討することで業務全体の効率化を図る手法

鳥取自動車道 智頭用瀬トンネル南工事

国土交通省
中国地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他(施工効率)			

大容量・高性能吹付けコンクリートの採用で施工サイクルを短縮

工事概要

智頭用瀬トンネル南工事は、鳥取自動車道（兵庫県佐用郡佐用町～鳥取県鳥取市を結ぶ高規格幹線道路）の連続するトンネルや合流を伴う IC 部の走行車両の速度低下による交通阻害の解消のために、付加車線設置計画で設定された智頭用瀬トンネル（全長 L = 2,392 m）のうち、南工区 L = 785 m を施工するものである。



坑口部全景

施工サイクルタイムの短縮

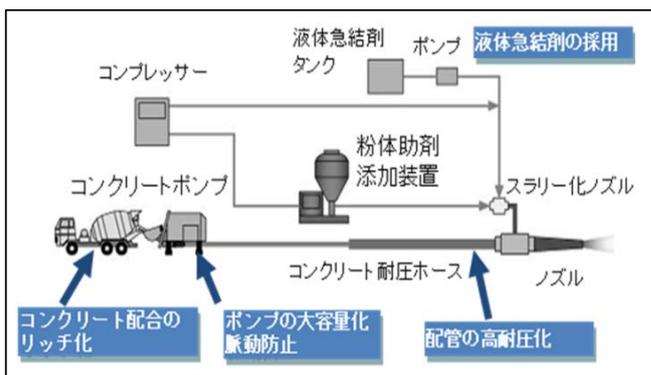
当工事は、隣接工区の橋梁工事との作業調整や狭小な坑口部の仮設備等の段取り替等で掘削作業を一時中断せざるを得ない状況が生じた。また、地質状況が悪く湧水も多いことから、トンネル支保パターンも大幅に変更となった。そのため、当初は掘削完了までの所要月数を約 12 ヶ月の計画でスタートしたが、掘削が 200 m 完了した段階で見込まれた所要月数が 14 ヶ月（+2 ヶ月）となり掘削工程に遅れが生じていた。このような背景から、トンネル掘削の施工サイクルタイムを向上させ、工程の遅れを解消するための方策の 1 つとして、大容量・高性能吹付けコンクリートの採用に至った。



狭隘な坑口部

大容量・高性能吹付けコンクリート

一般的に、トンネル掘削作業のうちの吹付けコンクリートの施工時間は、掘削・支保工の施工サイクルの 15% 程度と大きな比率を占める一方で、10～15 m³/h の吐出量で、20～30% のリバウンドを許容して施工している場合が多い。当該現場で採用した「大容量・高性能吹付けコンクリート」は、吐出量の大容量化とリバウンド率の低減を両立しており、吐出量 20 m³/h 程度を基本にリバウンドを 10% 程度に抑えることで、時間当たりの施工量（実際に付着する量）が従来の吹付けコンクリートと比べて約 2 倍の施工量となるもので、吹付けコンクリート作業の大幅な時間削減を図り、トンネル掘削の施工サイクルタイムの短縮に寄与するものである。



大容量・高性能吹付けコンクリートシステムの概要



ベースコンクリートの性状

大容量・高性能吹付けコンクリートの配合例

	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					急結材	
					水	セメント	細骨材		粗骨材		高性能減水剤
							砂	フライアッシュ			
配合例	18	21	50	70	220	440	1183		524	3.52 (C×0.8%)	液体
							1064	119			

大容量・高性能吹付けの施工性データ(抜粋)

吐出量 (デジタル値)	実吐出量	リバウンド率
21m ³ /h	20 m ³ /h	12.0 %
25 m ³ /h	23.5 m ³ /h	7.8 %



吹付け作業状況 (全景)



吹付け作業状況 (切羽)

施工サイクルの短縮効果

大容量・高性能吹付けコンクリートの採用により、吹付け作業時間は、従来の吹付けコンクリートの作業時間と比較して約34%短縮され、トンネル掘削1サイクル当たりでは、約7%の短縮効果を得ることが出来ている。

智頭用瀬トンネル南工事は、2017年12月に貫通した。大容量・高性能吹付けコンクリートの効果に加えて、坑内仮設備の移動方法の工夫などの掘削作業の効率化を図ることで、想定した14ヶ月の最大所要月数を1ヶ月程度短縮し、13ヶ月でトンネル掘削を完了した。

所在地:	鳥取県八頭郡智頭町	掘削工法:	NATM (発破)	掘削延長:	785 m
竣工年:	2018年	掘削面積:	66.1~90.5 m ² (設計)	覆工延長:	785 m (坑門1基)

佐久間道路浦川地区第1トンネル新設工事

国土交通省
中部地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

大断面トンネル現場における生産性向上による“4週8閉所”の取組み事例

工事概要

佐久間道路第1トンネルは、長野県飯田市から静岡県浜松市までの約100kmの区間で建設されている高規格幹線道路「三遠南信自動車道」の一部で、静岡県と愛知県の県境に位置する全長3,435m（避難坑並設）のトンネルである。本工事は、トンネル延長3,435mの内、静岡側から本坑L=1,555m、避難坑L=1,575mをNATMにて施工するものである。

4週8閉所達成における課題

“きちんと休んでしっかり働ける現場をつくりたい”という所長の思いのもと、本工事では当社の先駆けとして2015年秋より職員の4週8休に取り組んだ。この現場では、職員が交代で休みを取るのではなく、当社が将来的に目指す土曜日を完全閉所した4週8閉所を達成したが、これにおいて以下の2つが大きな課題であった。

課題① 技能労働者の給与水準の維持：日給月給で勤務する技能労働者は休日が増えればその分給与が減ってしまう。そこで同現場では、“出来高に対する対価”という発想で技能労働者に支払う金額は維持して、作業時間を短縮することに着目した。

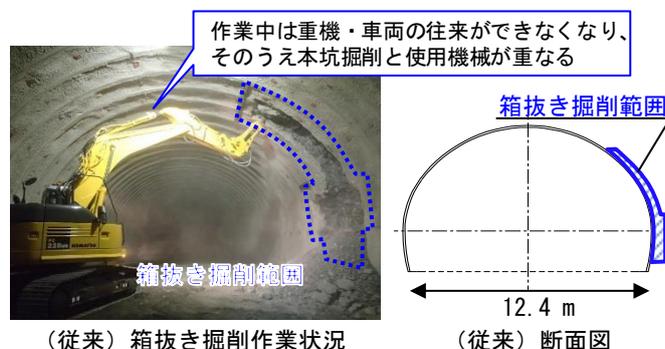
課題② 工程の遅延：本工事は当初、4週5閉所をベースに全体工程を計画していた。そのため、何の策もなしに土曜日完全閉所を導入すると、約1.5ヶ月の工程遅延が想定された。

これらの課題克服のために同現場で実施したのは、従来のやり方から“やり方・材料を変える”ことによる生産性向上（＝『カイゼン』）である。

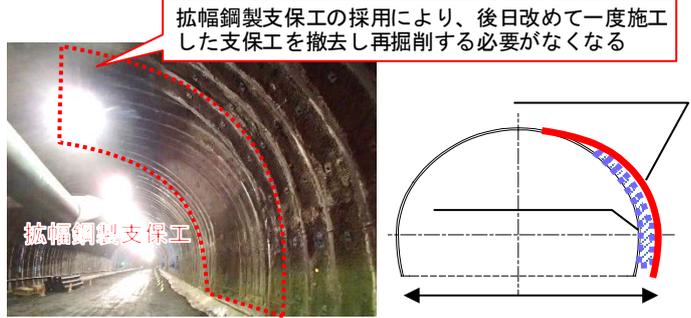
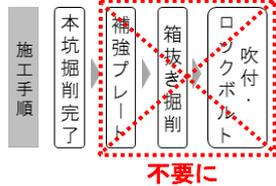
生産性向上の施策

1) 箱抜き掘削作業の平日化

空調、防災設備を施工する箱抜き掘削は、本坑掘削完了後に切羽の後方で支保工を撤去して水平方向へ拡幅する工事である。大掛かりな作業となるため、本坑掘削との並行することは難しい。そのため、おのずと土曜日の掘削作業実施が常態化していた。



そこで、あらかじめ箱抜き掘削位置に、拡幅したアーチ型の鋼製支保工を設置し、本坑掘削時に箱抜き掘削を完了する。これにより、掘削量やコンクリートの打設量は多少増えるが、トンネル掘削における土曜日作業を無くすことができるうえ、支保工切断に伴う支保機能の低下を防ぐことができた。



2) 流動性の高いコンクリートの採用

トンネル覆工は通常、2日に1回のサイクルでコンクリート打設を行うことから、週に3回打設するためには6日間の稼働が必要であった。また、この打設作業は狭隘なスペースでの締固め作業となり、熟練した技術が要求される。

そこで、覆工天端部分に最小限の締固めで施工できる高充填コンクリートを採用し、打設時間を8時間から6時間へ大幅に短縮した。また過密鉄筋区間の覆工については、締固め作業が一切不要な高流動コンクリートを採用することで、打設人員の削減が可能となった。これにより、5日間で3回の打設サイクルで施工が可能となった上、充填性および覆工表面の仕上がりも向上させることができた。



(従来) 狭隘空間での打設状況



(カイゼン後) 吹き上げ打設状況

3) CIMの積極的採用

同現場はCIMに関する産官学モデル事業にも選定されており、CIMを作業軽減のツールとして如何に活用するかに取り組んだ。UAV測量と連動させ、3次元で施工情報を管理することで作業の効率化と時短を図るとともに、情報の共有促進や施工方針の迅速な策定に役立った。また、現場見学会などでのイメージアップにも大きく貢献した。



3次元モデルの活用

まとめ

生産性を向上させるためのこうした施策により、試行前と同程度の出来高を確保し、技能労働者の給与も同水準を維持すると同時に4週8閉所を実現することができた。土曜日に仕事をするのが当たり前という現場の意識を変え、知恵と工夫、それと若干の予算を投入することにより初めて達成できるものである。できる現場から取り組むことが、「現場全体」の4週8閉所を全現場へ展開するという当社の目標への第一歩と考えている。

所在地: 静岡県浜松市	掘削工法: NATM	掘削延長: [本坑: 1,555 m 避難坑: 1,575 m]
竣工年: 2017年	掘削面積: [本坑: 標準 90 m ² , 坑口拡幅部: 119~316 m ² , 避難坑: 約 16 m ²]	

関内駅ほか構築補修工事

横浜市交通事業管理者

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

鉄道営業線内の構築補修工事における生産性向上への取組み事例

工事概要

横浜市営地下鉄は1972年に供用され、建設から40年以上が経過しており、現在、経年劣化が生じているシールドトンネルや駅部の補修工事を行っている。特に臨海部では地下水に塩分が多く含まれ、漏水などによる塩害により構造物が劣化している。本工事は、塩害による劣化が著しい臨海部の市営地下鉄関内駅および大江橋中間立坑において、塩害対策工法を用いて構築補修を実施するものである。



壁面の劣化状況

本工事での生産性向上への取組みの結果、コンクリート表面処理作業では、自社開発装置の適用により施工量 (m²/人) は3倍に増加、また営業時間中の施工壁面の目隠し養生作業では、創意工夫により作業の時間、人員ともに88%削減を実現した。

生産性向上の取組み

地下鉄駅構内など供用中の鉄道施設を対象とした補修・補強工事では、夜間の限られた時間内での作業となる。本工事では、準備、復旧を含む作業を2.5時間/日で行う必要があり、次の作業ポイントについて効率化を検討し、生産性向上を図った。

- ・コンクリート表面処理（天井面の目あらしや塗膜除去）作業
- ・表面処理に伴う粉塵等の飛散防止および設備の養生作業
- ・営業時間中の地下鉄利用者に不安を与えないための施工中壁面の目隠し養生作業

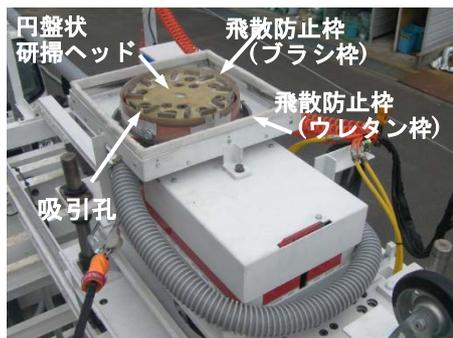
1) 「天井用車載型乾式研掃装置」の適用

本装置は、従来、人力で行ってきた天井面の目あらしや塗膜除去の研掃作業を、機械化・自動化するために自社開発したものであり、作業の効率化だけでなく、安全性の向上および仕上がり面の均一化等を図ることができる。



車載された研掃装置

本工事では、研掃装置本体、集塵機、発電機、コンプレッサーから構成される装置を、レール上を移動する2台の台車に搭載し、モーターカーで牽引できるように改造し、作業を行った。



ケレン機の外観



研掃装置による施工状況

人力施工に比べて施工能

力が大幅に向上するとともに、足場などの準備・撤去時間も短縮できたことにより、1人当たりの施工量が3倍となり効率化が図れた。足場上での高所作業もなくなり、また発生する粉塵等も吸引による飛散防止が連動して行われるため、安全性の向上や作業環境の改善も図ることができた。

2) 「ロール巻き取り式目隠しシート」の適用

施工途中の壁面状況を地下鉄利用者の目に触れないようにするため、営業時間内は目隠し養生を行う必要がある。これまではアンカー固定式の鋼板にて目隠し養生されていたが、毎日の作業において、撤去復旧に時間が掛かるため、足場が不要で、誰でも・一人でも撤去復旧が可能となるロール巻き取り式目隠しシートを考案し、設置した。

これにより、作業時間、作業人員とも88%の削減が可能となり、特に撤去復旧作業時間における約23分の短縮は、1日の作業時間が2.5時間であることから考えると、大きな効果を及ぼす結果を得ることができた。



鋼板による養生



ロールシートによる養生



シート巻き取り状況

目隠し養生方法の比較

		アンカー固定式 鋼板養生	ロール巻き取り式 シート養生
1枚あたりの サイズ		W1.0 m × H3.0 m	W3.6 m × H3.5 m
10 m ² あたり	作業 時間	26.6分 (撤去10.0分、復旧16.6分)	3.2分 (撤去1.6分、復旧1.6分)
	必要 人員	6.6人	0.8人
足場		必要	不要

所在地: 横浜市中区尾上町

止水注入工: 1,254 m

表面被覆工: 3,351 m²

竣工年: 2018年

断面補修工: 1,050 m²

日高自動車道 新冠町 大狩部トンネル工事他

国土交通省
北海道開発局他

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

山岳トンネル工事における機械化施工 ～将来的な自動化を見据えた取組～

工事概要

日高自動車道は、苫小牧市を起点とし、日高町、新冠町等を経由して浦河町に至る延長約 120 kmの自動車専用道路である。本工事は、本自動車道を構成する厚賀静内道路(日高厚賀 IC～静内 IC (仮称))のうち延長 2,151mのトンネルを構築するものである。



ロックボルト工における生産性向上

山岳トンネル工事に多く用いられる NATM 工法の施工サイクルは、①掘削(発破掘削 or 機械掘削(当工事は後者)) ②ずり出し ③アタリ取り※ ④吹付け ⑤ロックボルト工 からなる。

このうち、当工事でのロックボルト工に要する時間は全体の 37%を占め、扱う 6m ロックボルトは 1本あたり約 20kg もあり、人力での挿入は負担が大きく、危険を伴う作業であった。

※発破掘削後に計画断面内に残った地山をプレカによって除去し、断面を整形する作業

そこで鹿島では、ロックボルト工におけるモルタル注入及びロックボルト挿入作業の機械化に取り組んだ。



図1 大狩部トンネル(仮称)位置

1) モルタル注入における機械化

3ブームドリルジャンボのセンターブームをモルタル注入専用とし、このブームのドリフター(削岩機)操作により穿孔部に注入管を挿入し、モルタル注入まで行うことができる機構を開発した。



写真1 モルタル注入装置(左) / ロックボルト挿入装置(右)

2) ロックボルト挿入における機械化

残りの2つの穿孔用ブームを用い、ガイドセルに設置した受け架台とドリフター後方に設置したホルダーからなるロックボルト挿入装置を考案した。同じくドリフター操作によって穿孔部にロックボルトを挿入、最後に先端部の挿入パッドで確実な押し込みを行う。



写真2 3ブームドリルジャンボによるロックボルト機械化施工

3) 生産性向上・安全性向上の実績

上記機械を導入した結果、1サイクルあたりのロックボルト工の作業時間を約3/4に短縮でき、切羽近傍における人力作業を最小限とすることで、安全性の飛躍的向上も達成することができた。

その他の機械化技術

鹿島では、ロックボルト工以外においても、以下のような機械化施工技術の開発に取り組んでいる。

1) 4ブームフルオートコンピュータジャンボ

従来の穿孔作業では1ブームあたり1名のオペレータが必要であったところ、4ブームフルオートコンピュータジャンボの導入により専任オペレータ1名での穿孔作業の実現、並びに穿孔精度向上による余掘り量40%低減を可能とした。



写真3 4ブーム1台での穿孔
(東北地整・新区界 TN)

2) アタリガイダンスシステム

アタリ取り作業の効率化を目的として、「アタリガイダンスシステム」を開発した。当社開発の高速3Dスキャナにより切羽形状を計測し、計画断面との重ね合わせによりアタリ箇所の詳細表示を可能としたことで、目視と比較して、作業時間は約2/3に短縮、また地山の必要以上の除去量の削減により吹付け材料使用量を約15%低減できた。



写真4 高速3Dスキャナによる計測(左) / 解析結果の表示(右)

3) スマート切羽ウォッチャー

発破孔やロックボルトの穿孔データから得られる破壊エネルギー係数データを利用して、リアルタイムかつ高精度に地質を評価するシステム「スマート切羽ウォッチャー」を開発・実用化した。わずか1分で切羽前方5mの地質状況の高精度予測・評価、切羽前方30mまでの脆弱部の抽出、切羽のデジタル画像処理による剥落危険度評価等を可能とした。これらの情報はク

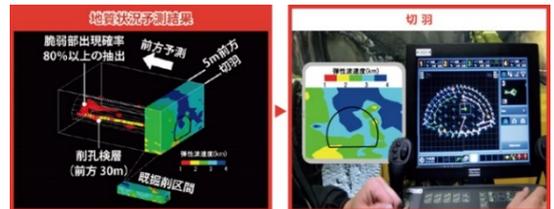


写真5 地質状況の予測結果

ラウドを介して全社で共有化し、全国のトンネル現場の施工データベースの構築に繋げることができる。

これらの技術の他にも、覆工コンクリートの品質向上・高速施工を目的とした「ツインアーチフォーム (TAF) 工法」「トリプルアーチフォーム (TrAF) 工法」等、積極的な技術開発を進めている。

未来のトンネル現場を見据えた自動化の取組

トンネル工事は、技能者やオペレータの手作業やその熟練度に依存する部分が多く、かつ地質が不確定であるなど潜在的危険要素を多く含む職種でもあるため、切羽崩落リスクについて、低減を図ることはできてもゼロにすることまでは不可能である。

そこで、切羽に人が近づかなくても施工が可能となるよう、機械化のさらに一歩先を見据えた、自動化技術の実証・検証実験に着手した。静岡県富士市の施工技術総合研究所内敷地内に構築した模擬トンネル(長さ約55m、幅約11m、高さ約8m)において、まずは施工ステップの中でも自動化が最も難しいと考えられる吹付け作業の自動化に向けた実証から開始する。

新しい未来のトンネル現場の創造を目指し、熟練技能者やオペレータの技のマニュアル化を進めながら、真の自動化に向けた取組を推進していく。



図2 未来のトンネル現場のイメージ



写真6 模擬トンネル

所在地:	北海道新冠郡新冠町	掘削工法:	NATM 工法	トンネル延長:	2,151m
竣工年:	2021年(予定)	幅員:	13.5m	内空断面積:	100.3 m ²

一関遊水地 舞川水門新設工事

国土交通省
東北地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

最先端そして魅力ある現場を目指して～次世代のために～

工事概要

遊水地には①洪水調節、②市街地等の水害防御、③遊水地内の有効利用などの目的があり、洪水時の遊水地内への流入防止および洪水後の滞留水の排水のために水門は必要不可欠である。

本工事は、一関遊水地のうち第3遊水地に設置する水門で、広大な当該地区の最下流の舞川水門を築造するものである。



図1 一関遊水地の全景

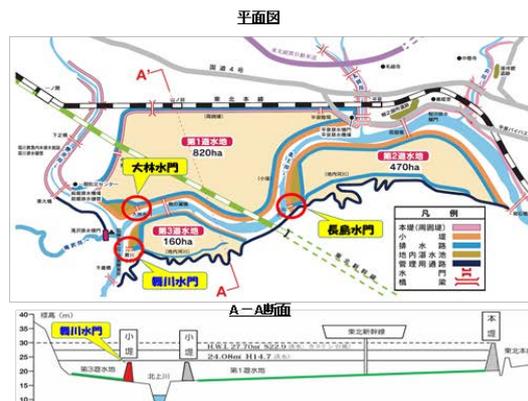


図2 一関遊水地計画図

生産性向上を目的とした多様な取組み

1) ICT 土工の活用

杭打設完了後の掘削作業において、3D マシンコントロールバックホウを用いて ICT 土工を実施した。

- ① 地上型レーザースキャナーによる起工測量。
- ② ICT 建機用 3 次元設計データを作成。(杭は精度を考慮して、設計寸法に半径 10cm、高さ 20cm を加算)
- ③ 現況モデルと統合して ICT 建機に登録、マシンコントロールにより施工を実施。

今後、築堤盛土についても MC ブルドーザーや盛土締め管理システムを搭載した振動ローラーを用いて施工予定。



図3 起工測量実施(TLS)



図4 現況地形点群データ

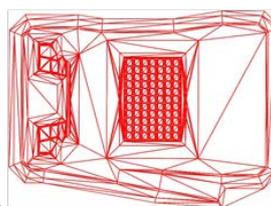


図5 ICT用3次元設計データ

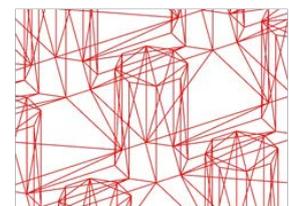


図6 杭頭部データ

2) CIM の活用

CIM を活用し、施工管理の効率化を図っている。

- ① 部材情報、コンクリート関連情報や出来形などの品質管理情報等の属性情報を 3D モデルへ付与。
- ② CIM モデルによる施工シミュレーション。(施工計画の妥当性照査、関係者協議、安全教育などに活用)
- ③ 3次元計測を用いた出来形管理：水門本体完成時に 3次元測量を実施して設計との比較を実施。
- ④ 3次元モデルによる干渉チェック。(鉄筋など)

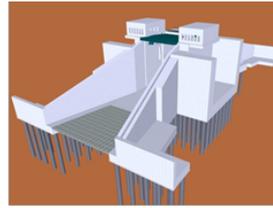


図7 水門本体のCIMモデル

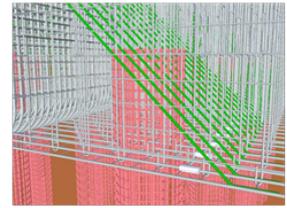


図8 鉄筋モデル

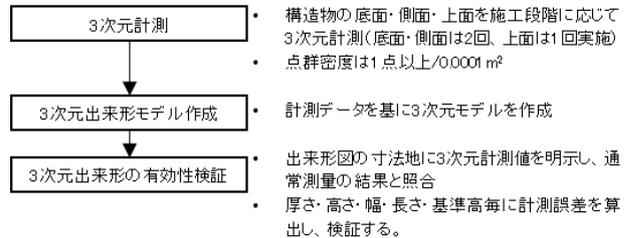


図9 3次元出来形管理のフロー

3) IoT を活用した施工管理の効率化

- ① Web カメラによる現場常時監視

記録用カメラ1台、監視用カメラ6台を設置し、現場全体を常時監視している。



図10 Webカメラと事務所の表示画面

- ② 電子黒板による工事記録の効率化

「蔵衛門 Pad」を利用してデジタル工事写真の電子黒板情報電子化、事務所で写真データを取り込むと自動で整理される。



図11 電子黒板を用いた工事写真撮影

- ③ ウェアラブル端末を用いた遠隔検査

現場職員がウェアラブル端末を装着、音声およびリアルタイム画像で発注者事務所と結び、遠隔検査を実施している。



図12 ウェアラブル端末を用いた遠隔検査

※また当工事は、東北地整直轄工事において週休2日を試行する初のWTO案件であり、先進のICT/IoTの活用、CIM活用など生産性向上に向けた多様な取組みを行うことで効率化を図りながら、週休2日達成に向け施工を進めている。

所在地:	岩手県一関市	コンクリート量:	24,929m ³	水門長さ:	109m
竣工年:	2020年(予定)	水門幅:	45~60m	水門高さ:	23m

紀北西道路北別所高架橋上下部工事

国土交通省
近畿地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

ハイピア橋梁下部工における生産性向上の取組み事例

工事概要

橋梁下部工の新設工事において、プロジェクト全体のスケジュールが遅延する中、工期を遵守して供用開始に間に合わせるため、工期短縮に向けた省力化技術を採用した。

当該技術は、ハイピア橋脚の中空部分を含む橋脚躯体 8 面の足場と型枠を一体化し、コンクリート打設 1 リフト毎に油圧ジャッキでクライミングさせる工法である。本工法はスイッチのボタン操作一つでシステム型枠を上昇させることが可能であり、施工性に優れる。また、専用型枠と高張力タイロッドを使用するため、ケレンおよび剥離剤塗布作業を省力化でき、作業効率が向上する。

従来工法では、中空橋脚の内外面全周に足場を設置し、鉄筋、型枠、コンクリート打設の 1 リフトの施工に 2 週間程度を要する。全作業が高所作業となることから、リフト高さが大きくなるほど施工性が低下するが、本工法を採用することにより、足場と型枠を一体化してクライミング（1 リフト：5 m）させることが可能となり、1 リフトの施工を約 9 日間で実施することができる。また、システム型枠のクライミング操作には熟練工を必要としないことから、施工性も向上するため、型枠工および足場工の高所作業を低減でき、安全性の向上にも寄与できる。

生産性向上を目的とした工期短縮等に対する取組み

本工法を採用した結果、足場・型枠組立に要する作業日数を大幅に低減でき、以下の効果が得られた。

- 1) 躯体工事における工程短縮
- 2) 躯体工事の品質および安全性の向上

1) 躯体工事における工程短縮

【施工手順】

- ①クライミング設備、型枠および鉄筋組立用足場をユニット化して、橋脚躯体に設置する。
- ②次リフト打設前、橋脚躯体にクライミング用のサスペンションシューおよびクライミングプロファイル（レール）を設置し、オペレーターの合図の下、油圧ユニットでクライミング設備を上昇する。
- ③型枠はタイロッドにより組み立て、コンクリート打設後、所定の養生期間経過後に型枠を脱型する。
- ④上記、①～③の工程を繰り返す。



クライミング状況



クライミングシステムによる施工状況

【従来工法】1リフト（足場組立～コンクリート打設～型枠脱型まで） ⇒ 約8日

【本工法】1リフト（クライミング～コンクリート打設～型枠脱型まで） ⇒ 約4日

（※コンクリートの養生期間は時期により異なるため、上記日数に加味していない。）

【本工法による効果】

- ・リフト毎の鉄筋組立用足場を追加設置する必要がない。
- ・クライミング作業自体は1時間程度、オペレータ1名のボタン操作のみ。
- ・枠組足場に比べてステージ幅が広く、高さも2m以上あるため、型枠組立時、コンクリート打設時の作業性が向上する。

2) 躯体工事の品質および安全性の向上

ハイピア橋脚の施工では、全面足場の設置とクレーンによる型枠移動に多くの労力と工程を要する。また、高所作業による災害発生リスクも大きくなる。本工法を採用し、足場と型枠を一体化して油圧ジャッキでクライミングさせることで、作業を省力化・効率化し、工程短縮を図った。それと共に高所作業を低減し、安全性を向上することができた。

システム型枠を使用した結果、セパレータの数量を低減することができ、劣化因子の浸入要因となるPコン穴埋め部の数も低減できた。足場上での施工性が良くなった結果、コンクリート締固め等の作業がやり易くなり、打設したコンクリートの出来栄が向上し、高品質なコンクリート構造物を構築することができた。

今後の課題

今回採用したシステム型枠の導入においては、従来工法に比べ、型枠損料がコスト高となるため、足場や型枠組立数量、橋脚基数（システム型枠の転用可否）等による費用対効果の検討が必要である。

今後の課題として、システム型枠上昇時の作業は省力化できるが、下降時の作業についてもよりスムーズな施工が可能となれば、更なる省力化、施工性の向上に繋げることができると考える。

所在地： 和歌山県和歌山市	工種： RC 橋脚工	橋脚高さ： 64.0 m
竣工年： 2017 年	種別： 橋脚躯体工	実施数量： 2 基

ハッ場ダム本体建設工事

国土交通省
関東地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

ダム建設工事における生産性向上への取組み事例

工事概要

ハッ場ダム（堤高 116m、堤頂長 290.8m、堤体積約 100 万 m³）は、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道及び工業用水の新たな確保並びに発電を目的とする多目的ダムである。

ハッ場ダムを施工するに当たり、ICT を活用した岩着部のコンクリート数量算出やバケット積載量を増加させることでのコンクリート打設工の効率化、プレキャストコンクリートを採用することによる生産性向上に取り組んだ。



図 1 ハッ場ダム全景

ICT を活用したコンクリート数量算出

ダム施工で行われる岩着部の掘削工事は、掘削予定線よりも早く所要の岩盤が現れた場合には掘削を終了し、予期しない弱層等が現れた場合には追加掘削を行うため、随時掘削線が変更される。このため、岩着面の形状は掘削予定線と異なり、岩盤形状を打設前に測量を行い、コンクリート数量を算出する必要がある。

ハッ場ダムでは、このコンクリート数量の算出に 3 次元レーザスキャナを活用した。3 次元レーザスキャナから得られた岩着面の点群データを TIN(Triangulated Irregular Network) と呼ばれる三角形の集合体に変換し、CAD を用いて掘削形状の 3 次元モデルを作成した後、コンクリート数量を算出した。また、3 次元モデルは、コンクリート数量を属性付与することで CIM としても活用しており、これより、3 次元モデル上から迅速かつ容易に任意の箇所のコンクリート数量を確認することができる。

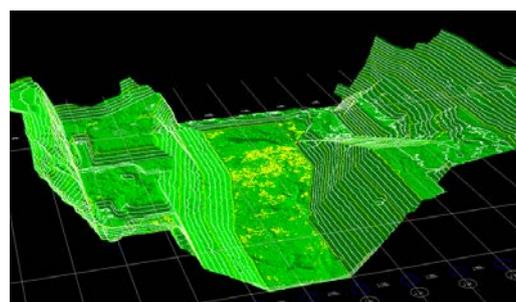


図 2 3次元スキャナ測量結果

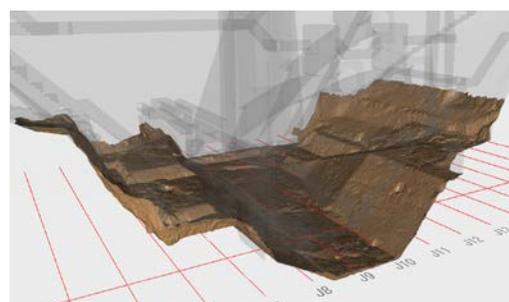


図 3 3次元モデル

軽量バケット

コンクリートダム建設工事では、コンクリート打設工がコスト構造の約6割を占めている。そのため、コンクリート打設を効率化することは、生産性向上に大きく寄与するものと考え、コンクリート運搬に用いられるバケットの改良を行った。

八ッ場ダムでは、コンクリートバケットの主要部材を、SS鋼材から高強度で耐摩耗性に優れた耐摩耗鋼板に変更し、鋼材厚を薄くし軽量化することで、コンクリートの積載量を増加させた。この軽量化により、クレーンの規模を変えることなくコンクリートの運搬を効率化した。標準型バケットの積載量が5.5m³だったのに対し、軽量型バケットは積載量が6.0m³となり、打設能力が約10%向上した。

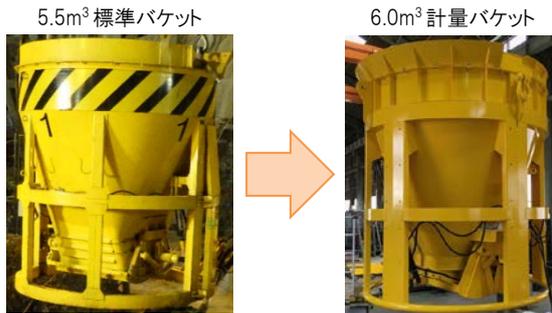


図4 バケットの軽量化

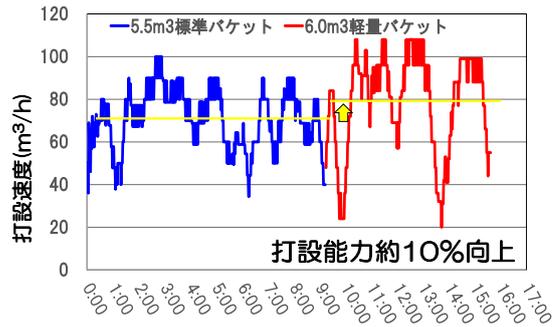


図5 軽量バケット使用後の打設効率

プレキャストの採用

八ッ場ダムでは、下記に示す箇所において、プレキャストコンクリートを採用した。

- ①天端橋梁橋脚部 (図6)
- ②放流管張出部
- ③洪水吐水路部頂版 (図7)
- ④洪水吐操作室頂版 (図7)
- ⑤エレベーターシャフト
- ⑥監査廊 (図8)
- ⑦堤内仮排水路

プレキャストコンクリートを使用することにより、足場および型枠の組立・解体作業、張出部での高所作業を省略でき、合理的で安全な施工を実現した。特に、洪水吐水路頂版及び洪水吐操作室頂版は、型枠支保工を省略することとともに、機械設備工事のとの作業干渉や設備の養生を不要とすることができ、生産性の向上に大きく寄与した。

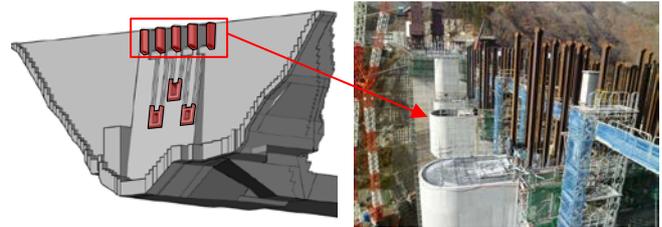


図6 プレキャスト使用箇所 (張出部、橋脚)



図7 プレキャスト使用箇所 (洪水吐水路部頂版、洪水吐操作室頂版)

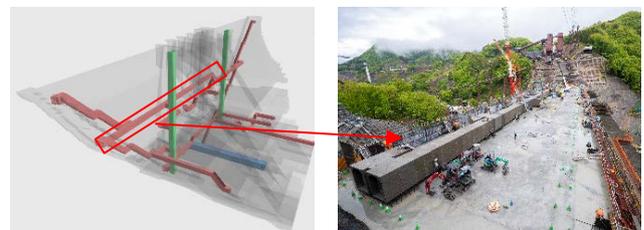


図8 プレキャスト使用箇所 (監査廊)

所在地:	群馬県吾妻郡長野原町	堤高:	116.0m	堤頂長:	290.8m
工年:	2020年	堤体積:	約100万m ³	形式:	重力式コンクリート

北陸新幹線、八日市川橋りょう他

鉄道運輸機構
大阪支社

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

新幹線工事における IoT を活用した生産性向上等の取組み

工事概要

本工事は、北陸新幹線事業として金沢・敦賀間の約 125 kmのうち、石川県加賀市において約 2.5 kmの区間の新幹線高架橋工事である。

本工事は、現河川である八日市川上を新幹線本線が通過する計画となっているため、現河川を瀬替えて河川を新設し、現河川の埋戻し後に新幹線本線を施工していくものとなっており、新河川を跨ぐ3径間連続 PC 箱桁橋(190m)が特徴となっている。

IoT を活用した生産性向上等の取組み

当現場における IoT における生産性向上等の取組は、

- ①ドローンによる空撮
- ②ICT 建機による土工事施工
- ③iPad による出来形管理、品質管理
- ④CIM による施工計画、安全管理
- ⑤ウェブカメラによる安全管理

の5項目を実施しており、それぞれについて説明していく。

1) ドローンによる空撮

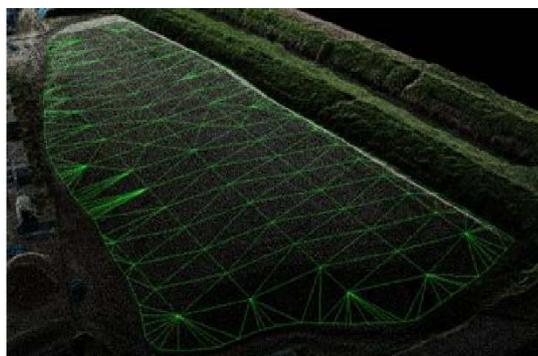
本工事では広域にわたる工事区間をドローンによる空撮を行い、施主への月次進捗写真等に利用している。また、ICT 建機で使用する施工地盤高の初期値データをドローンによる空撮写真から点群データ処理を行い作成し、次工程の計画に使用している。

2) ICT 建機による土工事施工

本工事では八日市川(現河川)上を新幹線本線が通過するため、現河川を瀬替えて新しく八日市川を新設する必要がある。八日市川の河川切替は石川県との調整で、下流側を平成 29 年 11 月、上流側を平成 30 年 3 月に部分使用することが決まり、工期の短縮が求められた。



完成予想パース



三次元設計データ

工期の短縮策として、河川土工事において ICT 建機を使用した。特徴として 3 次元化した図面をモニターで確認しながら掘削を行うことができ、設計土工基面以上掘り過ぎることがないため簡易に掘削作業ができる。これにより①丁張の省略②手元作業員の省略③施工箇所の自由化が可能となり、作業効率・安全性を向上させることにより、工期短縮を行った。また構造物掘削として RC 橋脚・ラーメン高架橋の基礎の掘削でも使用している。



運転席モニター



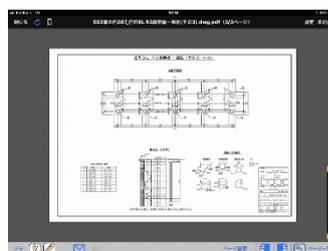
ICT 建機施工状況



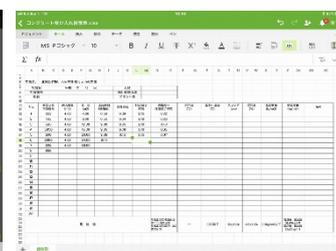
八日市川(新設)

3) iPad による出来形管理・品質管理

現場での iPad の活用として、クラウドサーバー (Chex) を使用し、設計図書の閲覧・出来形調書の作成、工事写真の撮影 (デキスパート) に利用している。また品質管理・現場管理としてコンクリートの連続単位水量 (COARANET) の管理や ICT 建機の管理 (KomConnect) を行っている。



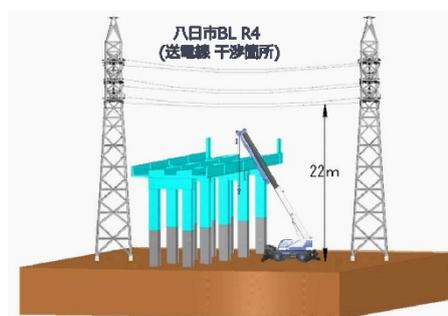
設計図書の閲覧



出来形調書の作成

4) CIM による施工計画

現場において送電線が干渉する場所や、市道部での桁架設について施工 CIM を作成し、クレーンの送電線からの離隔の確認や配置計画等に活用している。



施工 CIM

5) ウェブカメラによる安全管理

ウェブカメラを事務所・現場に 3 箇所設置し、事務所にあるモニター、iPad にて現場の施工状況の確認を行っている。また、支社とも連携し、母店のほうでも現場の状況を確認できるようにしている。

その他でも、RC 橋脚において大型メタル型枠を用いた生産性向上への取組みを行うなど、創意工夫を実施している。



ウェブカメラ

所在地:	石川加賀市	工事延長:	2,457m	場所打杭:	647 本
竣工年:	2020 年 1 月	RC 橋脚:	52 基	高架橋:	27 連

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

T-Mark. Navi を用いた日常測量における省人化・効率化による生産性向上

工事概要

本工事は、1958年に設置された第一排水機場が経年劣化による建替えが必要となったため、現在の排水機場を稼働させながら、隣接して新第一排水機場を建設するものである。

取組み事例

【開発の背景およびシステムの概要】

測量は建築・土木を問わず工事の基本であるが、現在および将来にわたる技術者・技能者不足や繁忙度向上に起因する測量トラブルの発生やそれに伴う工程遅延等が危惧されている。

そのため、従来は測量機器側と測点側にそれぞれ作業者を配置し2人1組で行っていた測量作業(写真1)を、作業者のスマートフォンにて自動追尾式光波測距測角儀(以下 自動追尾 TS)を制御することにより測量作業をワンマン化し、更に眼鏡型ウェアラブル端末と連携させ作業者をハンズフリー化することで、測量作業の安全性と効率性を向上させた新しい測量システム：T-Mark. Navi(写真2)を開発し当工事に適用した。

【システム内容・特徴】

本システムでは、作業者のスマートフォンを中継端末として、眼鏡型ウェアラブル端末と専用測量機器間で、作業中に以下①～④のような情報の受け渡しを行う。

- ① 測量に先立ち、パソコン等を使用して測量点の座標をスマートフォンに転送しインプットする。現地では自動追尾 TS 設置後、作業員に対し順次インプットされた測点への誘導を開始する。
- ② 誘導が開始されると、作業者が装着した眼鏡型ウェアラブル端末の画面上に、自動追尾 TS で計測された現在位置から目標とする測点までの誘導指示をリアルタイムに表示される。

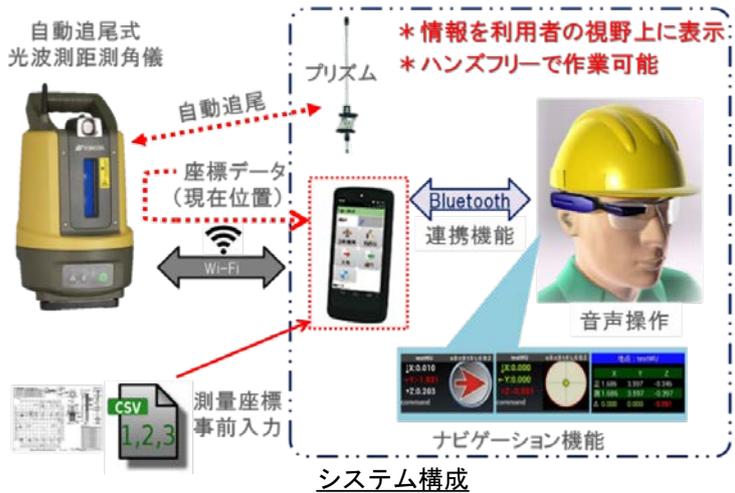


写真1 従来測量 (2人1組)



写真2 1人測量

- ③ 作業者は画面に表示される位置情報を確認しながら目標の測点まで移動し、「位置決定」など自らの音声で指示することで、自動追尾TS側に測点位置を記録、表示させる。
- ④ 同時に、眼鏡型ウェアラブル端末の画面にも自動追尾TS側と同一情報を表示させることで作業者は情報が伝達されたことを確認できる。



※作業者は周囲への視野を確保しながら、両手が自由な状態（ハンズフリー）のため、より安全にかつ効率的（プリズム位置合わせの迅速化）に作業を継続することができる。

取組みの効果

【当該工事における T-Mark.Navi 活用箇所と生産性向上効果】

PHC 杭（90 本）の杭芯測量および仮設土留・躯体構築の位置出し測量に適用し、現時点で約 30%の測量時間削減効果を確認した。

因みに、測点約 30ヶ所の試験測量において、従来では「作業員 2 人で 60 分を要する測量作業」が「作業員 1 人で 40 分にて完了」でき、67%（ $=1-40\text{min}/60\text{min} \times 1 \text{人}/2 \text{人}$ ）もの大幅な生産性向上効果が実証されている。

【システム展開可能範囲】

今回適用した位置出し測量はもとより、既知点への測量ダブルチェックに積極的に活用することにより単純な測量ミスに起因するトラブルの発生防止にも有効であると思われる。

現在では、事前にインプットした点以外にも、現地で任意の点の座標を測量・記録できるまでの機能を有しており適用できるフィールドはより拡大している。



所在地: 新潟県新潟市	掘削工: 11,300 m ³	構築工: 3,130 m ³
竣工年: 2019年(予定)	混合処理工: 6,150 m ³	築堤他盛土工: 8,700 m ³

(修) 上部工補強工事 1-109

首都高速道路株式会社

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

RC 床版下面の補強工事における生産性向上への試み事例

工事概要

本工事は、首都高速道路4号新宿線の鋼桁橋においてRC床版の床版補強工（炭素繊維シート格子接着工法）を実施することにより、構造物の長寿命化や安全性向上を図るものである。

本工事において、3Dレーザースキャナー測量による施工箇所の計測、ドローン技術を活用した墨打ち作業の自動化、電子小黒板による写真撮影などを実施し、生産性を向上させた。



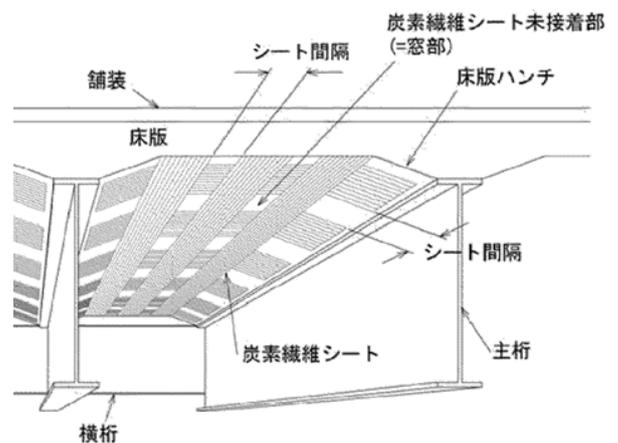
炭素繊維シート格子接着工法

課題と解決策

生産性から見る現場の課題を3項目挙げる。

●課題

- ①現地での施工箇所の詳細な寸法計測が必要である。
- ②炭素繊維シートの接着位置に、1枚毎の墨打ちが必要であり、かつ足場上での狭所上向き作業のため通常の下向き墨打ちに比べ工数がかかる。
- ③狭所での施工管理となるため、写真撮影では、黒板の配置が非常に困難である。



炭素繊維シート格子接着工法詳細

これらの課題を解決するために下記を実施し、生産性向上を図った。

●解決策

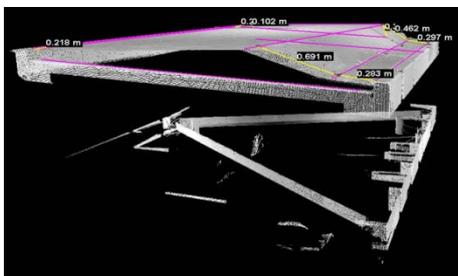
- ①3Dレーザースキャナー測量による施工箇所の計測
- ②ドローン技術を活用した墨打ちの自動化
- ③電子小黒板による写真撮影

①3D レーザースキャナー測量による施工箇所の計測

3D レーザースキャナー測量による施工箇所の寸法計測を行った。機械のセット、盛り替えを含み 520 m²/日の施工を行うことができた。これにより、従来コンベックス、巻尺等を用いた人力計測 (210 m²/日) に比べて、約 2.5 倍生産性を向上することができた。



測定状況



測定結果

②ドローン技術を活用した墨打ちの自動化

ドローン技術を活用した墨打ち機を開発して、一部の墨打ちを行った。墨打ち機は汎用品ではなく、当社の独自開発機械ならびに技術である。墨打ち機は、ドローンと上部に車輪の付いた墨打ち台車で構成されており、プロペラの回転による浮力で床版下面に墨打ち台車の車輪を押し付ける。位置制御は、鋼製桁からの距離を機械に搭載してあるレーザー距離計により認識させ、設定した位置でローラースタンプによりラインを描く仕様となっている。電源をバッテリーではなく外部電源方式とすることで連続飛行を可能としている。

墨打ち機の仕様

ドローン	寸法	1044 × 1044mm
	重量	3kg
	ケーブル	0.6kg (2.5m)
	ペイロード	10kg
車体	寸法	390 × 390mm
	重量	3.5kg

試適用として一部の実施であったが、1,125 m²/日の施工を行うことができた。従来の人力墨出し (800 m²/日) に比べて、約 40%生産性を向上することができた。



墨打ち機外観



墨打ち状況



墨打ち後の床版

③電子小黒板による写真撮影

電子小黒板を利用した写真撮影を行うことにより、狭所での黒板配置の課題を解決し、撮影者と黒板持ちの従来 2 人 1 組での作業が 1 人で可能となった。また、利用した電子小黒板の、自動振り分け機能を使うことにより事務所での写真整理作業も軽減し、生産性を向上させた。

所在地:	東京都杉並区永福 1 丁目	工事範囲:	橋脚番号 新-541~新-613	床版補強面積:	31,099 m ²
竣工年:	2019 年(予定)	工事延長:	約 1,300 m	塗替塗装面積:	41,772 m ²

北海道新幹線 渡島トンネル（天狗）他

鉄道・運輸機構
北海道新幹線建設局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

急速施工用インバート栈橋の開発によるインバート工のスピードアップ計画

工事概要

本工事は、北海道新幹線新青森～札幌間の渡島トンネル（延長 26,470 m、156.000 km ～ 182.470 km）の内、延長 4,600 m（158.660 km ～ 163.260 km）の天狗工区のトンネル新設工事である。

本坑の線形は、天狗工区全域にわたり直線で、勾配は工事起点側から工事終点側にかけて 1.5% の上り勾配である。また、本坑に先駆けて施工する斜坑は、3% の下り勾配で 990 m 掘削し、本坑に到達する。

掘削は、斜路部：NATM による発破方式の全断面掘削工法、本坑部：NATM による発破方式の補助ベンチ付き全断面掘削工法である。インバート工は、本坑全線に施工する。

ズリ搬出は、斜坑部：タイヤ方式、本坑部：連続ベルトコンベア方式を採用する。

インバート工のスピードアップ計画の概要

トンネルの急速施工、効率化が叫ばれている昨今において、掘削断面積 110 m² 以上の大断面で月進 270 m の日本記録（鹿島建設、2016 年 7 月）が樹立された。このような状況に対応する為に、トンネル掘削以外の工種においても急速施工が求められている。

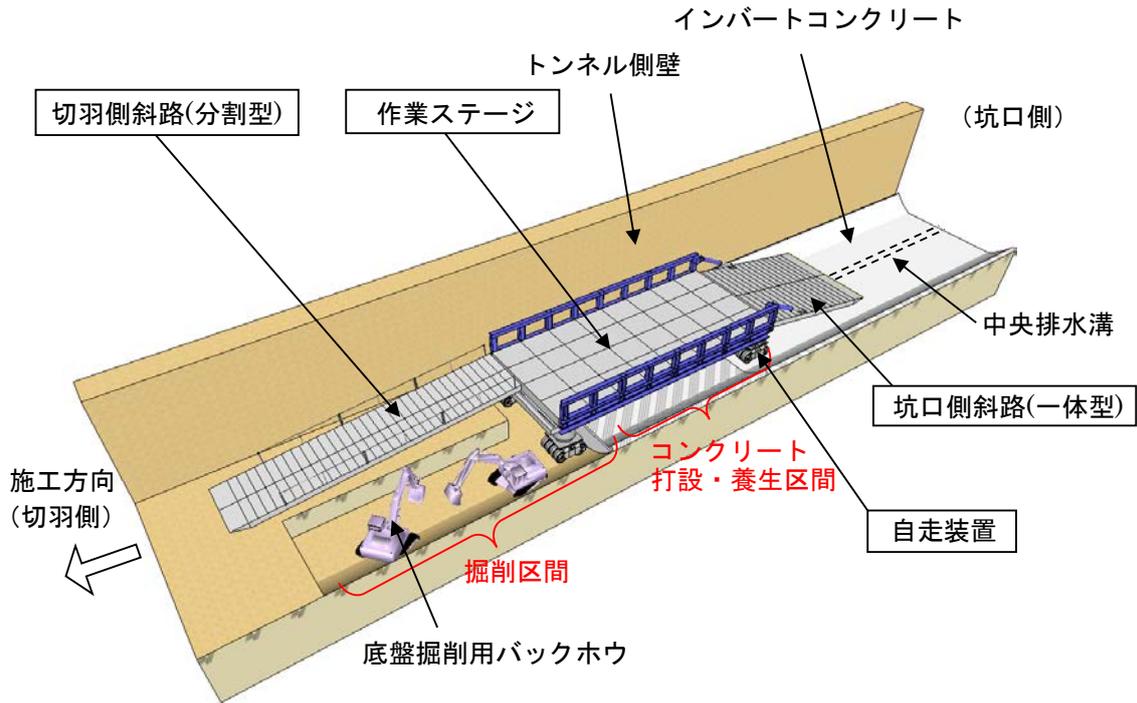
特に、インバート工は、従来軟弱な地質に設置していたインバートの施工を維持補修の観点から、硬岩でも設置する場合が出て来ている。このような場合、トンネル掘削の進行が早い上に、インバートの掘削に時間が掛かる傾向もあるが、掘削進行に合致した急速施工が求められる。

そこで、当社では、新幹線断面のような分割施工が出来ないトンネルインバートの施工を従来の週 3 回（1 日置き）コンクリート打設から、週 6 回（毎日）コンクリート打設を可能にするために、急速施工用インバート栈橋を開発（特許申請中）し、渡島トンネルにおいて実証実験できる所まで来た（渡島トンネルへの導入は、2018 年 5 月を予定）。

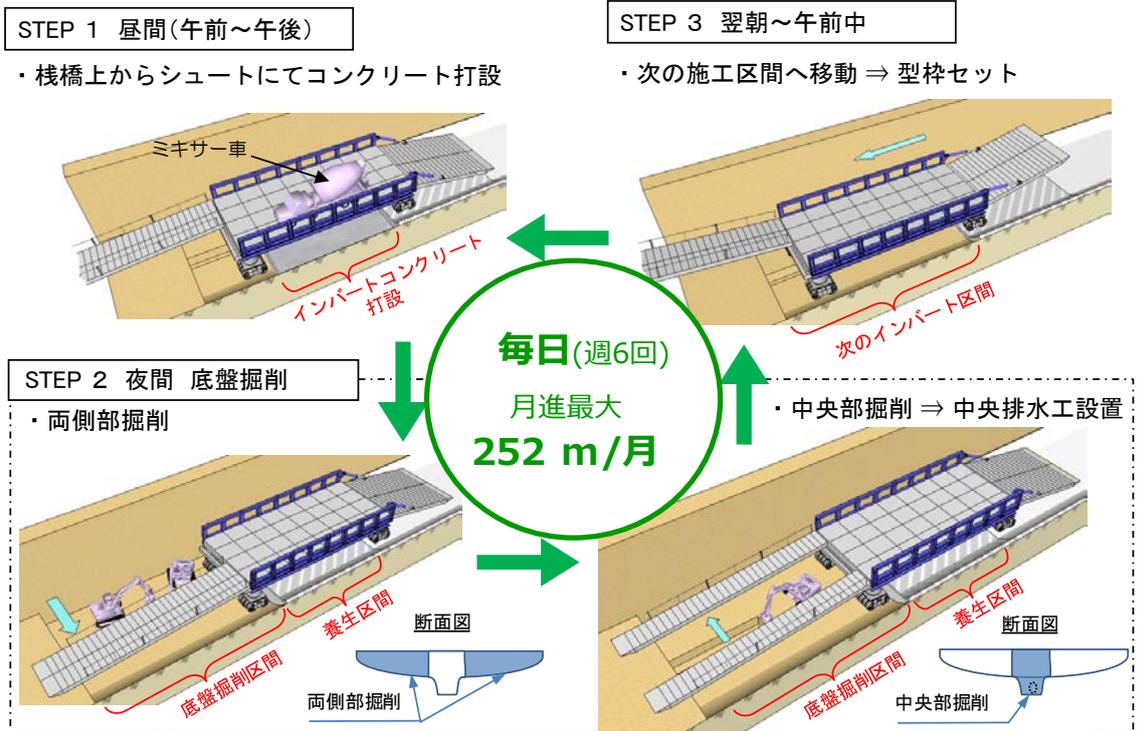
週 6 回コンクリートを打設出来れば、6 回 × 10.5 m × 4 = 252 m の施工が可能であり、発破トンネル掘削の進行に遅れる事無くインバートを施工できる。その結果、後続の防水シート、覆工コンクリートを待たせる事無く施工でき、トンネル施工全般における工事工程の短縮、急速施工に貢献できる。さらに、この栈橋は、インバートの施工中に極力通行止めをしない工夫と、従来施工が難しかったインバート中央部の中央排水工施工を、切羽側斜路を分割することで、掘削ができるように工夫もしている。

また、硬岩インバート掘削において、機械掘削で対応出来ない当り等があった場合に、速やかに発破を行える盤発破用発破バルーンを開発（特許出願中）し、作業が遅れないようにも対応している。

「急速施工用インバート栈橋」概要図



急速施工用栈橋使用のサイクル説明図



所在地: 北海道北斗市	掘削工法: NATM 発破	掘削延長: 4,600 m(本坑)
竣工年: 2022年(予定)	覆工延長: 覆工 4,600 m	

大阪港北港南地区航路(-16m) 附帯施設
護岸(1)等基礎工事

国土交通省
近畿地方整備局

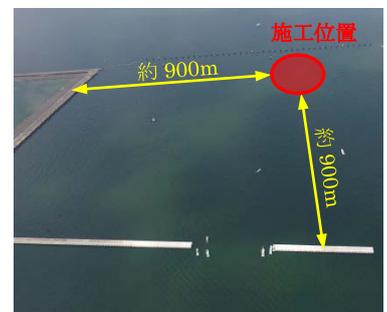
取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

海上工事における携帯型 GNSS を使用した測量業務の生産性向上への試み事例

工事概要

本工事は、大阪湾沖の新島 2-1 工区に浚渫土砂・建設残土の受入処分場として整備される海面処分場の一環として行われたものであり、附帯施設として埋立護岸の基礎工、被覆・根固工および雑工（沈下板設置）を施工するものである。

本工事の施工場所は、右写真に示すように陸上部より約 900 m の沖合に位置するため、陸上部からトランシット・レベルを用いての測量は困難であり、正確・迅速な測量を行うための方法を考える必要があった。そこで本工事では、携帯型 GNSS を活用し施工の位置出し・高さ出しを行うものとした。



施工位置写真

生産性向上を目的とした海上工事における携帯型 GNSS の活用

携帯型 GNSS を用いた効率的な測量を実現するためのポイントは、以下の 2 点である。

- 【ポイント 1】GNSS 機種を選定および補正情報の入手方法
- 【ポイント 2】使用ソフトの選定および CAD 図面の活用

1) GNSS 機種選定および補正情報の入手方法

GNSS は精度を重視し RTK-GNSS としたが、その際の補正情報の入手方法は、以下の 2 種類が考えられる。

- ① 電子基準局からの電話回線を用いて入手（VRS 方式）
- ② 現場内に設置した基地局から無線を用いて入手（基地局設置方式）

本工事においては、新島施工場所周辺の電話の電波状況が非常に悪く、複数の移動局を使用する予定であったため、基地局設置方式を採用するものとした。

機種を選定は、船上での使いやすさを考慮し、移動局と位置情報表示端末間を Bluetooth（無線接続）で接続可能な機種とし、位置情報表示端末は、海上での旗入れ測量等を行う場合に、画面上に図面および現在地を表示し容易に目的地までの誘導が行える野外ノートパソコン型とした。



GNSS 使用状況

2) 使用ソフトの選定および CAD の活用

位置情報端末として、野外用ノートパソコンを使用する場合、パソコン内にあらかじめ、誘導・計測に使用する測量ソフトを入れておく必要がある。使用した測量ソフトは、右図に示すように、あらかじめ CAD 図面を取込み、その図面上に現在地・目的地・目的地までの移動量を表示させることが可能である。

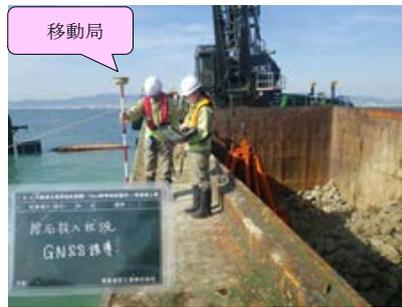


誘導画面

3) 携帯型 GNSS を使用した本工事での測量事例



潜水士船による旗入れ誘導

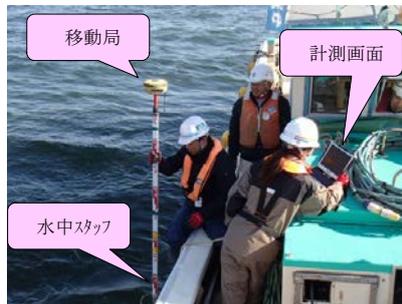


ガット船上での法肩位置出し

ガット船による捨石・盛砂投入時における、明示旗設置・ガット船上への法肩位置出しに使用し、作業時間を 20%短縮することができた。

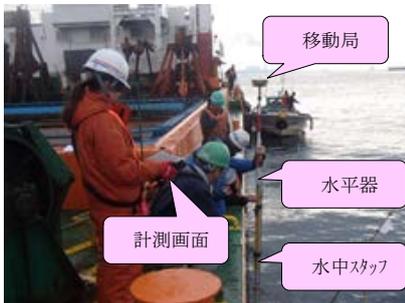


丁張肩位置出し



丁張高さ出し

潜水士船による捨石均し時における、丁張の設置に使用し、作業時間を 30%短縮することができた。



沈下板設置出来形計測



沈下板定期計測

海中部への沈下板設置時における、出来形（設置位置・高さ）の計測および以後の定期計測に使用し、作業時間を 20%短縮することができた。

所在地: 大阪府大阪市	盛砂: 25,431 m ³	沈下板設置: 1 基
竣工年: 2017 年	捨石: 40,866 m ³	

平成 26 年度 飛島大橋右岸下部工事

国土交通省
中部地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他(ユニット化)			

鋼管矢板井筒基礎形式の橋脚工事における生産性向上への取組み事例

工事概要

本工事は、国土交通省中部地方整備局が整備する名古屋環状2号線の橋梁工事であり、鋼管矢板井筒基礎による橋脚を3基構築したものである。本工事は河川内での施工であり、主な工種が渇水期施工に限られているため、手戻りや工事の中断を防止し、迅速な施工を行う必要があった。そのため、基礎工では鋼管矢板の効率的な打設機械の採用を、躯体工ではCIMを活用した配筋の合理化・鉄筋組立作業の効率化などを実施した。その結果、各施策の工期短縮効果により、橋脚3基の連続施工が可能となったことで、当初工期に対して約2ヶ月の工期短縮を実現した。



全景

生産性向上を目的とした施工効率化の取組み

施工の効率化のポイントは、

【ポイント1】 鋼管矢板打設の効率化

【ポイント2】 躯体構築の効率化

であり、具体的には以下に示す項目を実施することで、施工の効率化を実現した。

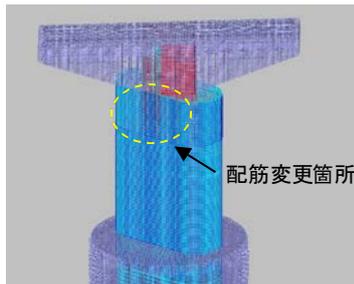
- 【ポイント1】 1) 効率的な杭の施工機械の採用
- 【ポイント2】 2) CIMを使った配筋のリスク回避と合理化
- 3) CIMの検討結果を用いた施工検討会による問題点の共有
- 4) 鉄筋のユニット化および機械式継手の採用による鉄筋組立速度の向上

1) 効率的な杭の施工機械の採用

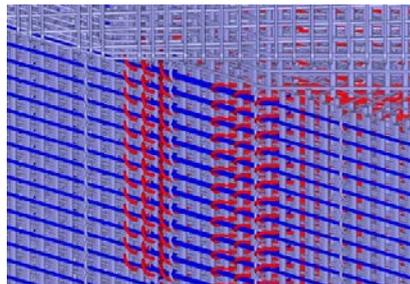
当初設計の三点式の杭打機を採用した場合、施工する鋼管矢板の直上に機械をセットする必要がある。そこで、杭打機作業構台の面積が縮小可能で、杭打設作業時の覆工板の開閉作業が不要なバイブロハンマ併用油圧ハンマフライング工法を採用した。同工法の採用により、鋼管の打設に係わる工期を4.5ヶ月から4ヶ月へと、約10%の工期短縮を実現した。



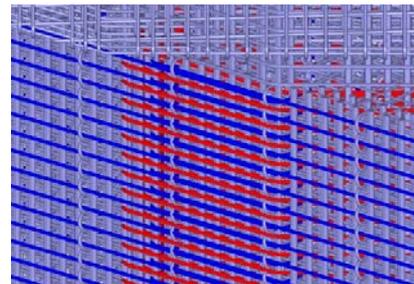
杭の打設状況



3D CADによる配筋図



配筋変更前



配筋変更後

2) CIM を使った配筋のリスク回避と合理化

本工事では工事開始時期から CIM を使った過密配筋部の改善に取り組み、3D CAD による施工困難な箇所の洗い出しを行った。

その結果、橋脚梁部と柱部の接続部付近において、帯鉄筋のフックが他の鉄筋と干渉しており、施工困難であることが判明した。この問題に対し、帯鉄筋の形状をフックから閉合形状に変更し、配筋を合理化することとした。これにより、所定の品質を確保しつつ施工速度が向上し、工期短縮につながった。



3) CIM の検討結果を用いた施工検討会による問題点の共有

CIM を用いた施工検討会では、配筋状況が 3D で分かりやすいこともあり、現状の問題点が明らかにされるとともに、関係者全員が問題点を共有でき、さらに、これを改善するための方策についても議論することができた。これにより、全関係者が同じ情報を共有することができ、施工の手戻りを防止できた。



4) 鉄筋のユニット化および機械式継手の採用による鉄筋組立速度の向上

鉄筋組立の作業効率を上げるために、鉄筋地組装置を用いた鉄筋地組施工方法を考案し（特許出願中）、柱部の鉄筋組立を行った。この工法は、専用治具を用いて、地上にて鉄筋をあらかじめ数段組立てておき、これをクレーンにて橋脚内部へ吊り込む工法である。この方法により帯鉄筋を一度に 6 段組立てることができたこと、さらに、軸方向鉄筋に機械式継手を採用したことにより、鉄筋の組立施工速度が向上した。



鉄筋のユニット化

躯体構築の効率化のための各施策により施工速度が向上し、躯体工の当初工期である 3 ヶ月に対して 2.5 ヶ月と、約 15%の工期短縮を実現した。

所在地： 愛知県海部郡飛島村

工事内容： 河川内橋脚工事、3 基

基礎形式： 鋼管矢板井筒基礎

竣工年： 2015 年

鉄筋工： 約 570 t

コンクリート工： 約 3,040 m³

細島港（外港地区）防波堤（南沖）築造工事

国土交通省
九州地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

ケーソン据付工における省人化施工の取組み事例

工事概要

細島港の沖合に整備が進められている南沖防波堤の整備事業の一環として、基礎工、ケーソン据付工、被覆・根固工、上部工の施工を行った。

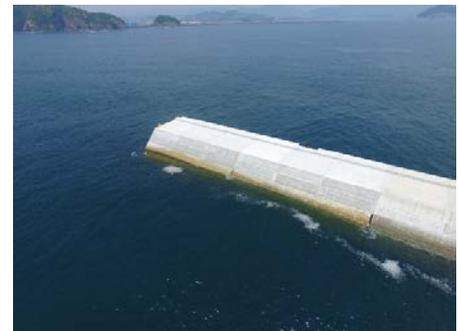
ケーソン据付工の特性として、海象条件の厳しい海域での施工であること、また専門的な工種であるため専門家への依存度が高くなる点が挙げられる。従来工法では位置決め測量やケーソンへの注水管理、ウインチ操作等に同時に20名を超える作業員を要して施工を行っていたが、本工事では、それらの作業を自動化することにより、施工の効率化、省人化を実現した。



施工場所

取組み内容

ケーソン自動制御据付システム（函ナビ-Auto）を新たに開発した。本システムは、ケーソン据付時にケーソンの位置と注水状況を計測し、PC画面に表示する「ケーソンリアルタイム計測システム」と、それらの情報をもとに注水作業と引き寄せウインチ操作を自動で調整する「注水・ウインチ操作自動化システム」から構成されている。



南沖防波堤（完成）

1) ケーソンリアルタイム計測システム

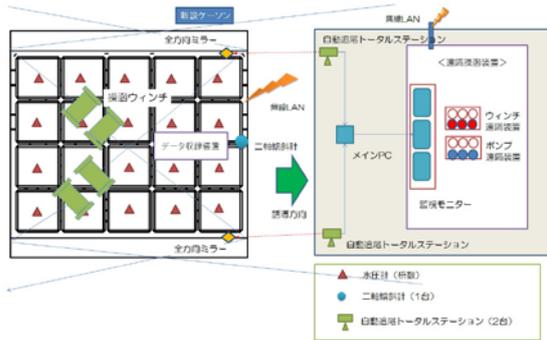
自動追尾トータルステーション2台と2軸傾斜計を使用してケーソン位置の3次元計測を行う。同時に、すべての隔室に水圧計を設置し注水中の隔室内水位を計測する。これらの計測データを一元管理することで、ケーソンの現況位置と据付目標位置及び注水状況をリアルタイムにモニター表示する。



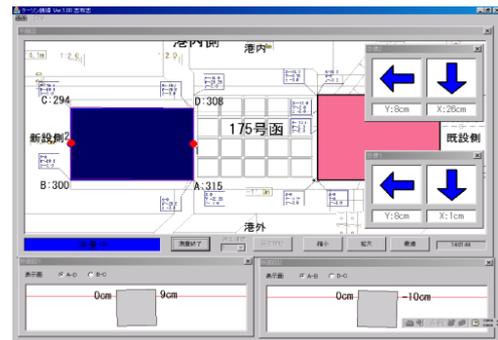
既設側から自動追尾計測



管理モニター



ケーソンリアルタイム計測システムの構成

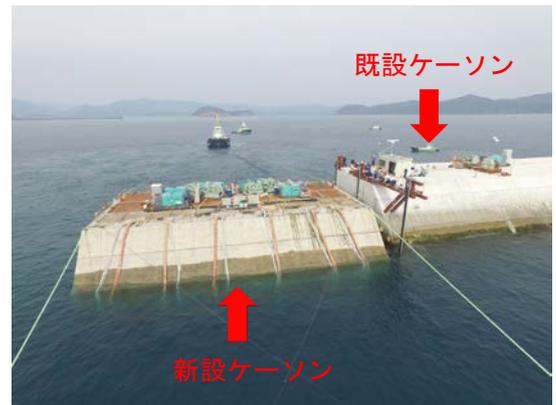


モニター詳細

2) 注水・ウインチ操作自動化システム

水自動化システムは、2軸傾斜計の情報をもとにケーソンが水平を保持するように、隔室への注水ポンプを自動制御するシステムである。

併せて、「ケーソンリアルタイム計測システム」のケーソン位置情報をもとに、新設ケーソンの天端に設置した複数の引き寄せウインチを自動制御することでケーソンの動揺と回転を抑制しながら据付位置まで自動的に移動する「ウインチ操作自動化システム」を構築し、同時運用を行った。



自動制御による据付状況



注水自動化システム



ウインチ操作自動化システム



3) 取組みの効果

ケーソン据付時は新設ケーソン天端でのウインチ操作や複数の隔室への注水作業を行う必要があり、積算では計24人の作業員（とび工、特殊作業員、普通作業員）が計上されているが、本システムの採用により58%の省人化効果を確認した。また、据付けに要する時間も40%低減された。

副次的な効果として、動揺するケーソンの上に作業員が立ち入ることなく据付を行うことが可能となり、作業の安全性も飛躍的に向上した。

今後は、波浪によるケーソンの動揺を低減させる機能を追加することで、ケーソン据付時の更なる安定性向上を目指す。

所在地: 宮崎県日向市	構造形式: 混成堤	施工延長: 60.3 m
竣工年: 2017年	ケーソン据付: 2函(8,901 t/函)	据付最大水深: 18.4 m

平成 30 年 302 号緑地共同溝内部構築工事

国土交通省
中部地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

フル PCa 方式による共同溝内部構築工「3D 測量」活用事例

工事概要

本工事は、施工延長は L=1,457m の既設シールドトンネル (Φ6,700 mm) 坑内にフル PCa で内部構築工を行うものである。内部は下中壁、中床版 (2 分割)、上壁の PCa 版にて 4 部屋を構築する (図 1)。構築にあたり、既設シールドトンネルには中床版設置用ブラケットも施工済みであることと、気密性が求められるガス室があることから、高精度の PCa 版割り付けが必要であった。

現況の既設シールドトンネル施工誤差とブラケット位置に合わせた PCa 版割り付けを検討する際、3D 測量を活用することで、省力化・生産性向上効果が得られた。

TLS による現況測量

まず、既設シールドトンネルの現況を正確に把握するため、地上レーザスキャナ (TLS; Terrestrial Laser Scanner) による現況測量を実施した。本工事では、トンネル坑内に中床版を設置するためのブラケットがあらかじめ設置済みであったため、スキャニングだけではブラケット同士が重なり点群データからブラケットの正確な位置特定が困難と判断し、TS (トータルステーション) による補完測量を実施した (写真 1)。

現地測量に要した期間は 4 日間、1 計測距離は 350m、計測時間 30 分 (器械盛替込み) と短期間で完了できた。

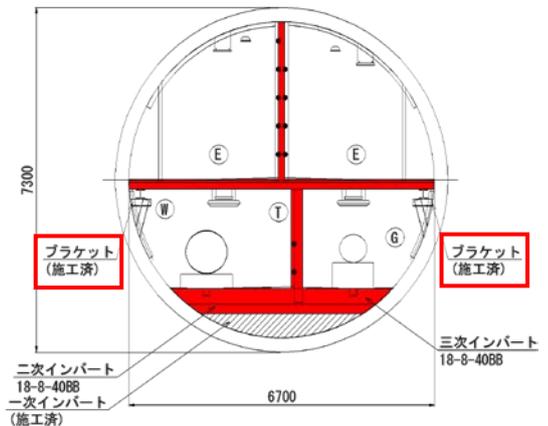


図 1 標準断面図

3D 測量を活用した PCa 版割り付け検討

現況測量完了後、測量データ解析に 1h (53 スキャン分)、点群処理に 10h (全データ数 5 億点) を要した後、点群データ内に PCa 版 3D モデルでの PCa 版割り付け検討を完了するまで約 1 か月で完了できた。これは、従来の 2 次元での割り付けに比べ、3 倍近くのスピード向上効果が得られた。

坑内現況測量結果をもとに、曲線区間の割り付け検討を実施した結果を図 2 に示す。結果、初期設計では、直線部材のみであったものに対して、直線部材と 1 種類の異形部材のみで施工可能な結果が得られた。これにより、異形型枠製作によるコストアップを最小限に抑えることができた。

また、施工の進捗に合わせた現況を再シミュレーションすることにより、



写真 1 坑内 TLS 測量状況

割り付け変更が自在にできることが可能となった（図2）。

共同溝工事は、完成後、各企業者が参入し設備工事を実施するため、今回作成した3次元モデルをもとに設備工事にも有効活用が可能となると考える（図3,4）。

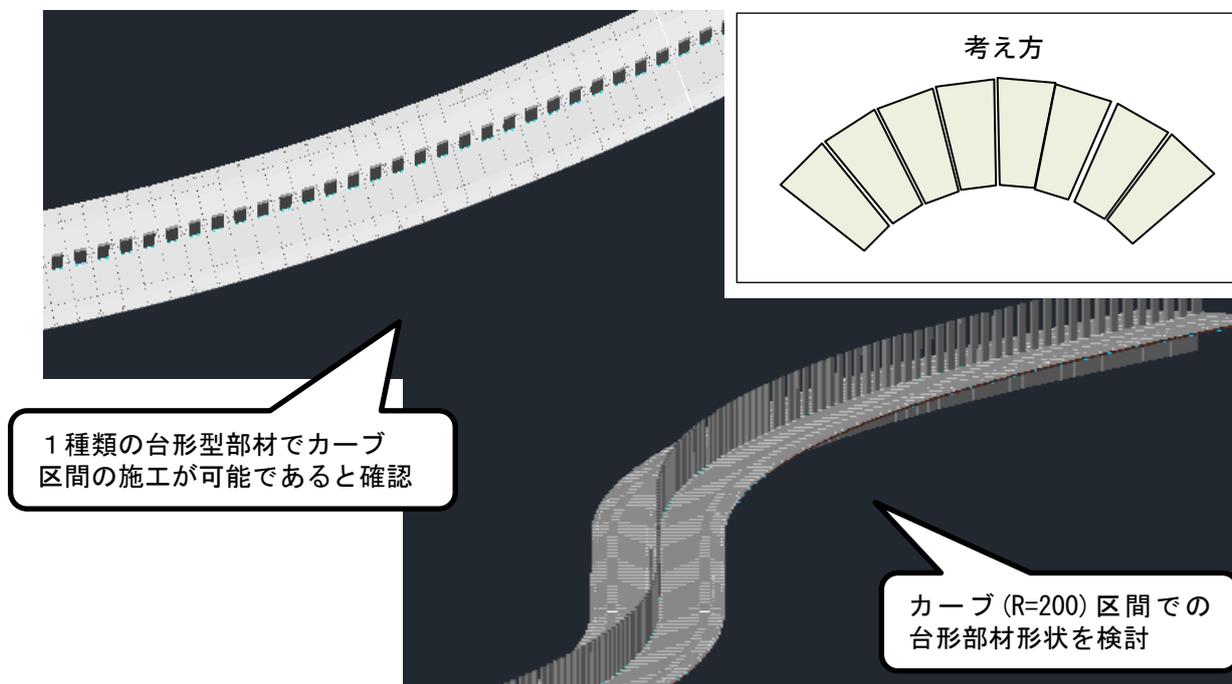


図2 曲線部割り付け（抜粋）

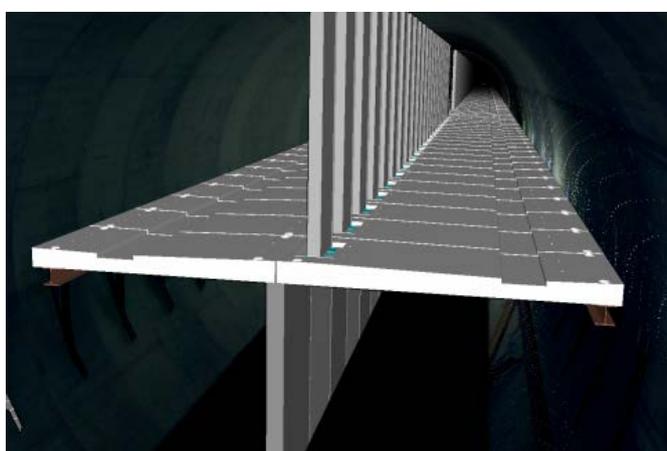


図3 3Dモデル（抜粋）

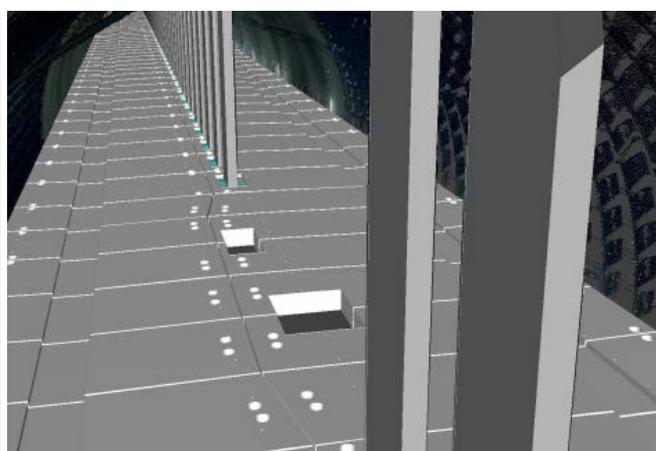


図4 3Dモデル（拡大抜粋）

おわりに

本工事は全国的にも施工事例がないフルPCa方式によるシールドトンネルの内部構築工であった。ICT、省力化、生産性向上が注目される中、今後益々、本方式による内部構築工が増えることが予想される。本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

所在地:	愛知県名古屋市	工種:	共同溝	施工延長:	L=1,457m
竣工年:	2020年6月(予定)	内径:	φ6700mm		

宮古盛岡横断道路 岩井地区トンネル工事

国土交通省
東北地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

吹付けコンクリートの練上り温度を最適温度に自動制御して生産性向上

工事概要

宮古盛岡横断道路は、岩手県内陸部（盛岡）から沿岸部（宮古）にアクセスする国道 106 号線の改築工事で、沿岸と内陸の連携を進めるための復興支援道路として事業が進められている。そのうち、岩井トンネル地区工事は平津戸松草道路（7 km）に属する延長 682 m と 143 m の 2 本のトンネルから成る。

寒冷地での山岳トンネルである本工事では、現場バッチャープラントに練上り温度を最適温度に自動制御可能な「スマートバッチャープラント®」を導入し、吹付けコンクリートの材料ロスを 24% 低減して、吹付けコンクリート工の施工性を 10% 向上することができた。

吹付けコンクリートの練上り温度を自動制御するスマートバッチャープラント®

工事箇所である岩手県宮古市区界は本州最寒地である蕨川と隣接し、標高も 500 m を超えて非常に寒い地域である。そのため、山岳トンネル工事の主要な支保部材である吹付けコンクリートの施工に際しては以下の課題があった。

- 課題 1：冬季には外気温が氷点下 20℃ 近くになるため、従来の現場バッチャープラントでは、コンクリートの練上り温度が制御できず、10℃ 以下に低下する。
- 課題 2：練上り温度が低下するため、吹付け時の急結性状が低下し、吹付けコンクリートのはね返りやはく離が発生して施工性が低下する。【生産性低下：材料ロスの増加、施工時間の増大】
- 課題 3：急結剤添加量を増加（過添加：添加率 8~9%）して急結性状を改善しようとしてもうまく制御できず、はね返りは多くなり、長期強度も低下する。【生産性低下、品質低下】
- 課題 4：従来の現場バッチャープラントでは、印字プリントされた伝票で練混ぜ実績データをパソコン上に手入力して管理していた。【生産性低下】

上記の課題を解決するため、吹付けコンクリート用に新規開発したスマートバッチャープラント®には、表 1 に示す 4 つの機能を配備した（図 1）。

機能 I~機能 III は、課題 1~課題 3 に対するもので、全バッチの練上り温度を自動測定し、次バッチの練混ぜ条件にフィードバックして急結性状が最適な練上り温度（25℃）に自動制御する。

機能 IV は、印字プリントされた伝票の実績データを手入力することなく、クラウド管理で自動的に材料管理表を作成して日々の施工管理業務を省力化する。

表 1 スマートバッチャープラントの機能

機能 I	材料の加温機能	・骨材はベルトコンベヤ上で蒸気により加温 ・原水は大型ボイラーで加温
機能 II	練り混ぜ材料の温度計測機能	・練混ぜ材料の練混ぜ前の自動温度測定 ・練混ぜ時のコンクリートの自動温度測定
機能 III	練上り温度の自動制御機能	・目標練上り温度に合わせて、次バッチの原水と温水の割合を熱量計算によって自動調整する機能
機能 IV	クラウド管理機能	・練り混ぜ実績データをデジタル化し、クラウドを介して遠隔所得する機能

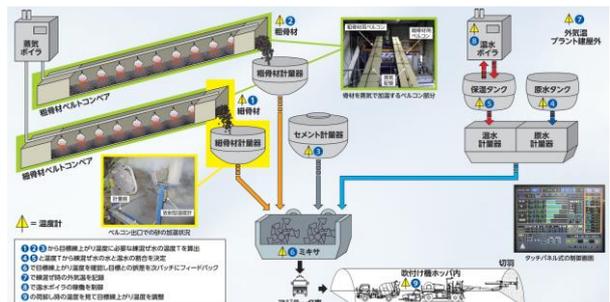


図 1 スマートバッチャープラントの概要

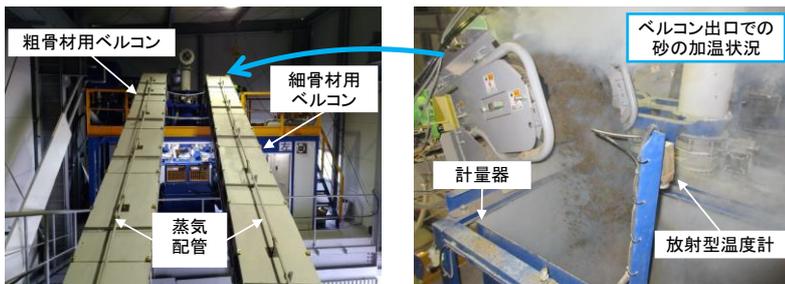


写真1 骨材の蒸気加温設備と加温状況



写真2 制御パネル

岩井トンネル工事での適用結果

2016年度の冬季にスマートバッチャープラントを本格稼働させて吹付けコンクリート工の施工性向上の効果を検証した。

目標練上り温度を急結性状が最適となる 25℃に設定して練上り温度を自動制御した結果、平均練上り温度 24.7℃（標準偏差 1.9℃）で製造管理することができた（図2）。一方、従来のバッチャープラントでは練上り温度は最適温度には制御できず（平均温度 15.9℃）、練上り温度のばらつきも標準偏差で 2.6℃と大きいことが分かる（Sトンネル：自動温度制御なし、図2）。

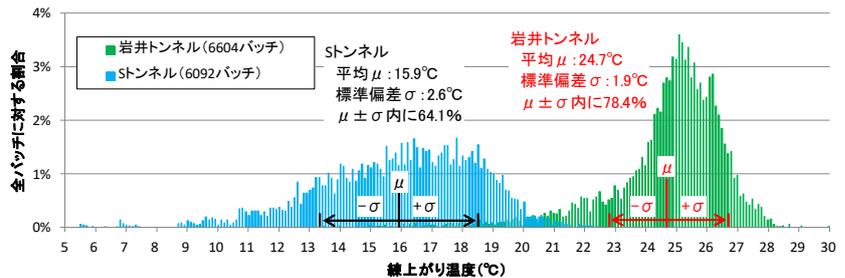


図2 練上り温度の制御結果：従来との対比

練上り温度が最適温度 25℃に安定して制御できたことにより、急結剤添加量は 8.2%から 6.4%に低減でき（図3）、吹付けコンクリート付着性状が改善されて余吹き率は 256%から 232%に低減した（図4）。これによって、吹付けコンクリート工の生産性を約 10%向上することができた。特に、吹付け材料や急結剤添加量の低減効果は大きく、スマートバッチャープラントの導入費用を上回るものであった。

また、冬季施工での急結剤の過添加がなくなり、吹付けコンクリートの圧縮強度が急結剤添加率 8.2%に対して 24%増加して品質を向上することができた（図5）。

さらに、製造データをクラウド管理【ICT技術の活用】して日常の材料管理を行うことで、現場職員の施工管理業務時間が日当たり 30分（データ手入力時間の排除）低減することができた。

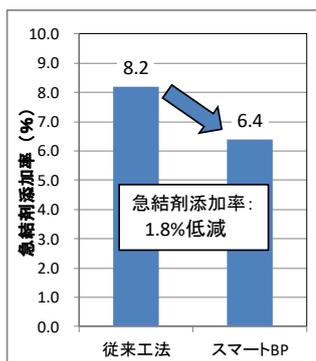


図3 急結剤添加率

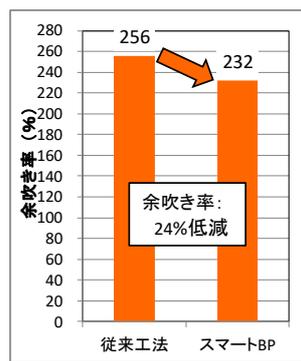


図4 余吹き率

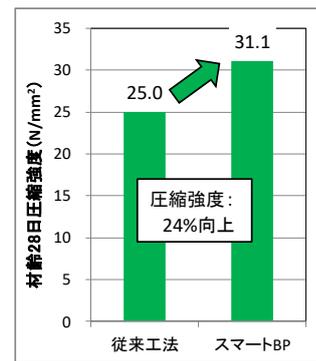


図5 圧縮強度

所在地： 岩手県宮古市区界地内	掘削工法： NATM(発破)	掘削延長： 825 m (= 682 m + 143 m)
竣工年： 2019年	掘削面積： 106.2 m ² ~125.0 m ² (支払)	覆工延長： 825 m、坑門工 4 基

平成 24 年度佐久間道路東栄地区第 1 トンネル工事

国土交通省
中部地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

本坑と避難坑の同時掘削における生産性向上の試み事例

工事概要

本工事は長野県飯田山本 IC から静岡県浜松いなさ JCT に至る延長約 100 km の高規格幹線道路「三遠南信自動車道」の一部である佐久間第 1 トンネル（仮称）を構築する工事である。

本工事は掘削代表断面積 82.5 m²の本坑(L = 1,880.6 m)と掘削代表面積 17.8 m²の避難坑(L = 1,882.0 m)を同時掘削するトンネル工事となっており、避難坑掘削と本坑掘削において施工方法を工夫することで、標準的な掘削工期である本坑 45 ヶ月、避難坑 34 ヶ月に対し、本坑 31.5 ヶ月、避難坑 27 ヶ月で掘削を完了し、掘削工期を本坑 30%短縮、避難坑 20%短縮を実現した。



写真1 起点側坑口

生産性向上を目的とした高速施工の取組み

高速施工を実現するためのポイントは、

- 【ポイント 1】 事前地山予測とスムーズなパターン変更
 - 【ポイント 2】 本坑・避難坑同時掘削での工夫によるサイクルタイム短縮
- 上記ポイントに対し、以下の施工方法を導入し、高速施工を実現した。

- 【ポイント 1】 1) 避難坑の先行掘削による地山判定および水抜き効果
- 【ポイント 2】 2) 避難坑をレール工法からタイヤ工法へ変更することでの効率化
 - 2)-1 本坑と連絡坑を利用した、避難坑への資材搬入の効率化
 - 2)-2 本坑内へのズリ仮置きによる、避難坑ズリ搬出の効率化
- 3) 避難坑の機械入替時間を短縮するための拡幅断面設置

1) 避難坑の先行掘削による地山判定および水抜き効果

避難坑掘削を本坑掘削より常に約 100 m 先行掘削することで、避難坑掘削時に得られた地質の情報を本坑掘削時に活用し、本坑のスムーズなパターン変更が可能となった。

また、避難坑を先行掘削することで、水抜き効果が得られ、本坑の地下水位を低下させ、切羽の安定性を確保できた。

避難坑を高速施工する工夫を 2) 3) に示す。

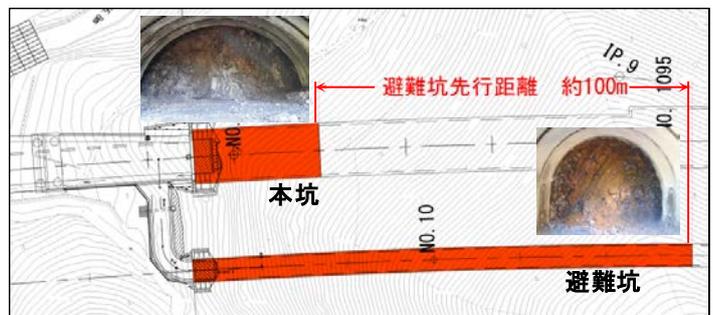


図1 平面図(本坑・避難坑切羽位置関係)

2) 避難坑をレール工法からタイヤ工法へ変更することでの効率化

避難坑はレール工法で設計されていたが、タイヤ工法に変更した。

タイヤ工法の採用で、現状の取得している用地で施工ができ、レール工法で懸念される車両の逸走の危険性がなくなり、安全性向上につながった。

さらに、タイヤ工法の採用で、本坑と避難坑をつなぐ連絡坑を活用することで避難坑掘削の高速施工が実現し、生産性が向上した。



写真2 拡幅した連絡坑



写真3 連絡坑走行状況

2)-1 本坑と連絡坑を利用した、避難坑への資材搬入の効率化

避難坑での鋼製支保工等の資材運搬車や生コン車は、転回できないため必ず後方走行が発生する。

そこで、連絡坑を10 m²から17 m²に拡幅し、大型車両の通行を可能にし、避難坑資材を本坑から運搬できるようにすることで、避難坑内での後方走行が減少し、安全性の向上と運搬時間の短縮につながった。

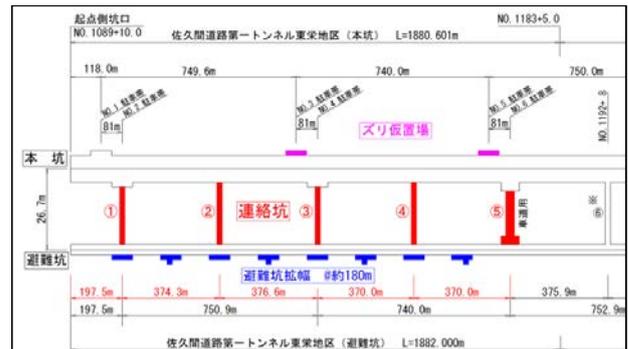


図2 本坑・避難坑・連絡坑概要図

2)-2 本坑内へのズリ仮置きによるズリ搬出の効率化

避難坑のズリ出し作業では、ズリ仮置き場を本坑の非常駐車帯に設置し(図2)、連絡坑を活用し運搬距離を短くすることで、ズリ出し時間を短縮した。ズリ出し時間の実績比較(1基当たり)を、以下に示す。

坑外へズリ搬出: 約100分 本坑内に仮置き: 約60分
約40分/基の短縮につながった。



写真4 本坑内ズリ仮置き状況

3) 避難坑の機械入替時間を短縮するための拡幅断面設置(図2 避難坑拡幅位置)

180 m 間隔で避難坑を拡幅し、重機の待避所とダンプトラックの転回場所とした。

切羽からの重機の退避距離を短くし、かつダンプトラックの後方走行を低減することで、サイクルタイムの短縮につながった。

その他に、サイクル短縮や機械の故障低減を目的に避難坑の路盤の悪い箇所にコンクリート舗装を実施するなど、生産性向上への試みを実施した。



写真5 避難坑拡幅断面
コンクリート舗装



写真6 重機待避状況

所在地: 愛知県北設楽郡東栄町	掘削工法: NATM(発破)	掘削延長: 1,880.6 m (本坑)
竣工年: 2017年	掘削面積: 82.5~119 m ² (本坑支払)	覆工延長: 1,880.6 m (本坑)
	17.8~28.0 m ² (避難坑支払)	18.0 m (避難坑)

柏崎周辺（二期）農業水利事業市野新田ダム第二期建設工事

農林水産省
北陸農政局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他(CIM)			

市野新田ダムの盛立工事における ICT 及び CIM の活用事例

工事概要

市野新田ダムは、新潟県柏崎市、刈羽村の水田 3,590ha に対し、基幹的水利施設を新設・更新する柏崎周辺農業水利事業の一環として築造されるダムで、堤高 26.7m、堤体積 166,000 m³の傾斜遮水ゾーン型フィルダムである。

当ダムの盛立工事において GNSS 振動ローラと GNSS 振動タンピングローラによる締固め管理の ICT 施工を実施した。さらに締固め管理と盛土材品質管理、埋設計器管理の施工情報を 3D モデルに統一して管理する CIM の導入も実施した。

ICT 施工の取り組み

1) 盛土の締固め管理

ICT 施工では一般的である GNSS を用いた盛土の締固め管理をシステム導入の 2016 年 9 月から盛立完了の 2017 年 11 月まで遮水材ゾーンを振動タンピングローラで半透水性および透水性ゾーンを振動ローラで実施した。システムを導入をすることにより転圧回数不足や過度の転圧を防ぐことができた。



GNSS 締固め管理施工状況

2) マシンガイダンスによるリップラップゾーンの法面整形

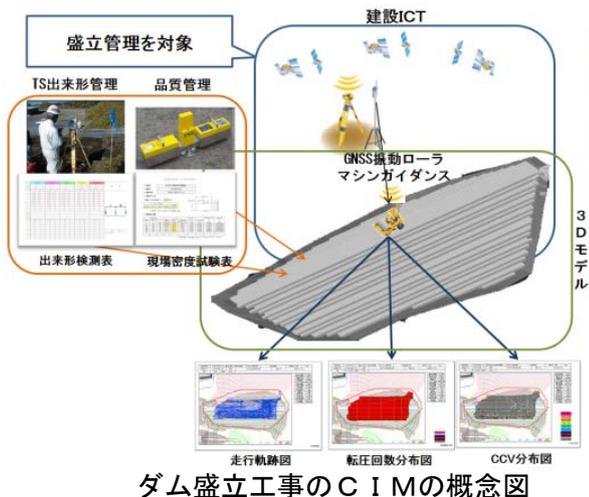
創意工夫としてリップラップ材 9,000m³ において 0.8m³ 級バックホウ 1 台で丁張りレス法面整形を実施した。大塊の材料(Dmax200~700)であり、盛土丁張りが出しにくい場所であったため、マシンガイダンスの導入は有効であった。熟練のオペレータにも好評で、最初のデータ入力完了すれば、測量待ちなどのタイムロスもなく連続して施工ができた。



マシンガイダンスによる法面整形

ダム盛立工事の CIM 活用

ダムの盛立工事においては締固め管理、材料試験等の品質管理、出来形管理、埋設観測計器施工管理等様々な管理が煩雑となってくる。これらの施工情報を 3D モデル上の施工箇所に登録することで一元管理が可能になる。



ダム盛立工事のCIMの概念図

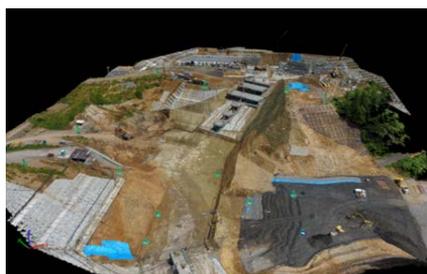
2013年の大分川ダム締切堤のCIM導入から今回はゾーン毎の3Dモデル化と埋設観測計器管理を追加した。

UAVによる写真測量の取り組み

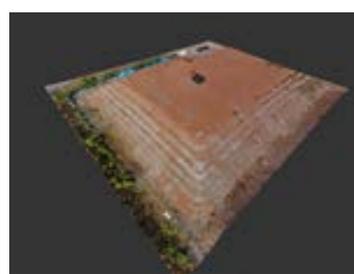
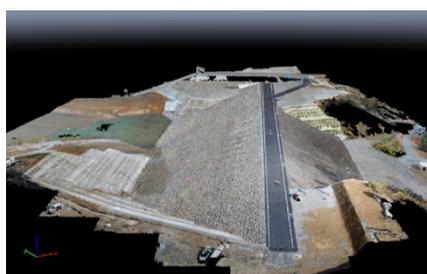
i-Constructionが始まる前年の2017年から当ダムでUAVの活用検証を開始した。出来形管理要領(案)が策定されてからは精度検証を実施してきた。

また、UAVの機種選定、飛行計画作成、標定点設置間隔、高低差のある地形の飛行計画、安全飛行方法、写真から3D点群、土量計算方法などのマニュアルを作成し職員の研修を実施した。

まとめ



UAV写真測量による堤体の3Dモデル

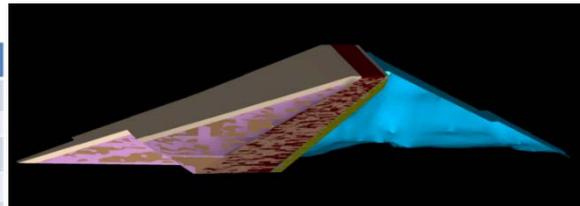


ストック材の3Dモデル

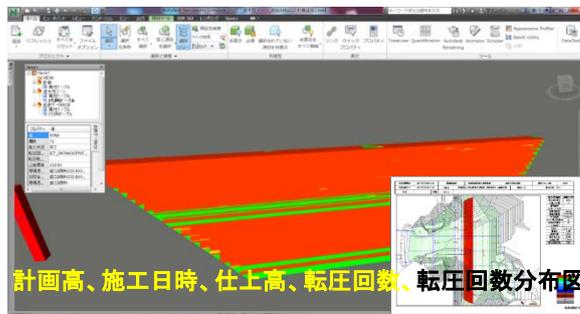
当現場ではICT施工、CIM、UAV写真測量と新技術を率先して導入してきた。それぞれの課題は今後解決され、施工の効率と品質を向上させる有効なツールとなる可能性があり、さらなる研究開発を実施することが生産性向上に寄与するものがある。

所在地:	新潟県柏崎市大字女谷	ダム形式:	傾斜遮水ゾーン型フィルダム	堤高:	26.7m
竣工年:	2019年9月予定	本体盛立工:	166,000m ³	基礎掘削工:	480,000m ³

施工情報属性	
ローラ締固め	
XYZ座標値	
施工日時	
転圧回数	
CCV	
振動周波数	

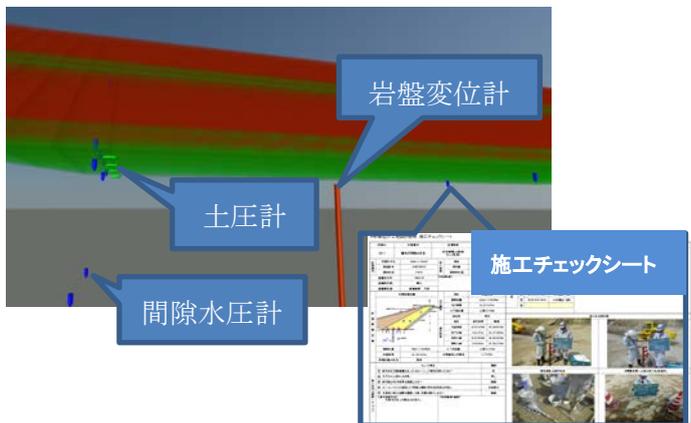


盛土材料毎の3Dモデル



計画高、施工日時、仕上高、転圧回数、転圧回数分布図

3Dモデルから締固め回数分布図を抽出



埋設観測計器の施工情報を3Dモデルから抽出

国道 45 号 新鍬台トンネル工事

国土交通省
東北地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

大断面山岳トンネル工事における生産性向上への試み事例

工事概要

本工事は、東日本大震災復興道路事業の一環として整備が進められている三陸沿岸道路工事を構成する吉浜釜石道路のうち、岩手県大船渡市と釜石市を貫く三陸沿岸道路最長の長大トンネルである。

本工事は掘削断面積 110 m²を超える大断面トンネル工事において、最先端技術、ICT の導入などにより標準的な掘削工期である 27 ヶ月間に対し 18 ヶ月で掘削を完了し、掘削工期 33%短縮を実現した。

生産性向上を目的とした高速施工の取組み

高速施工を実現するためのポイントは、

【ポイント 1】 不良地山等のリスク予測と高速施工区間の選定

【ポイント 2】 各工種においてサイクルタイムを短縮

であり、それぞれに対して以下の技術を導入し、高速施工を実現した。

【ポイント 1】 1) 切羽前方探査による高速施工区間の判定

【ポイント 2】 2) コンピュータジャンボ導入による施工効率向上

3) 発破作業の効率化

4) ズリ出し作業の効率化

5) 吹付けコンクリート作業の効率化



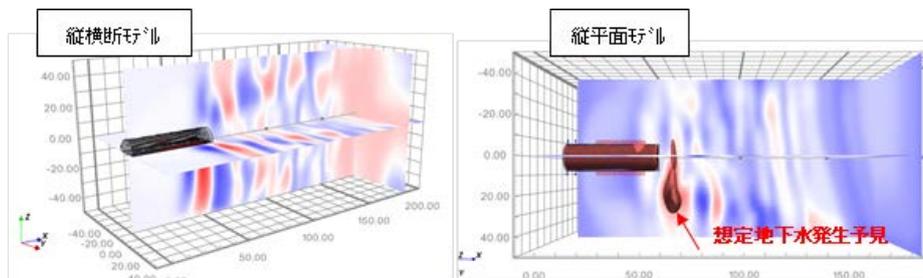
大船渡市側坑口



釜石市側坑口

1) 切羽前方探査による高速施工区間の判定

前方探査技術は、PS ワイヤライン工法、穿孔探査法、ボアホール検層ならびに反射法切羽前方探査 TSP303 を導入した。これらの前方探査技術を複合使用した高精度な地質情報より、高速施工が可能な区間を判断した。



TSP303探査結果図(3Dモデル例)

2) コンピュータジャンボ導入による施工効率向上

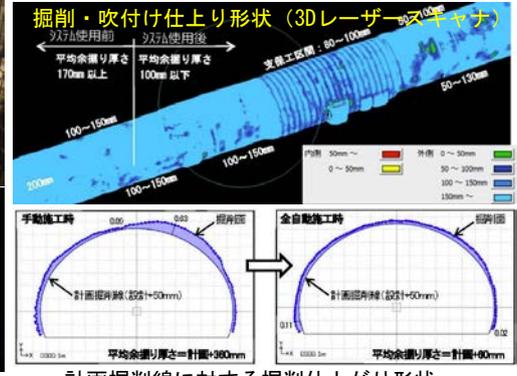
本工事では坑内 ICT と連携する 2 種類のコンピュータジャンボを両切羽に各 2 台ずつ導入した。これにより、発破削孔およびロックボルトのサイクルタイムをそれぞれ 19%、34%短縮することができた。また、コンピュータ制御により余掘りも低減した。



ドリルジャンボ2台体制



ナビゲーション画面



計画掘削線に対する掘削仕上がり形状

3) 発破作業の効率化

本工事においては、伸縮風管とマルチバルーンを組み合わせてることにより飛び石や発破後ガスを密閉・遮断し、吸引捕集換気することで、換気時間を 50%低減することができた。



マルチバルーン



伸縮風管による吸引捕集換気

4) ズリ出し作業の効率化

2) の余掘り低減による、ズリ出し量の低減に加え、大型ホイールローダ (3.5 m³級) の 2 台導入と重ダンプトラック (30 t 積み) 8 台の組合せにより、ズリ出し時間を 44%低減することができた。



ホイールローダ2台体制

5) 吹付けコンクリート作業の効率化

吹付けロボットを 2 台導入し、2 台同時に吹付けすることにより、コンクリート吹付け時間を 29%低減することができた。



吹付けロボット2台体制



吹付けコンクリート状況

その他にも、大量爆薬消費に伴う騒音振動対策として、移動式防音扉の採用や電子雷管 (e-DevII) を用いた最新制御発破技術も採用した。これらの最先端技術や ICT の導入などにより、生産性向上への試みを実施した。

所在地： 岩手県大船渡市

掘削工法： NATM (発破)

掘削延長： 3,330 m (本坑)

竣工年： 2018 年 3 月

掘削面積： 114.9~132.6 m² (支払)

覆工延長： 3,328.4 m、坑門工 2 基

国道 45 号 夏井高架橋工事

国土交通省
東北地方整備局

取組み事例の分類 ▷▷▷	A. 3D 測量	B. ICT 活用	C. PCa	D. 業務効率化
	E. 新技術	F. 創意工夫	G. 施工管理	H. 育成
	I. その他()			

夏井高架橋における i-Bridge への取組み

工事概要

国道 45 号夏井高架橋工事は箱桁断面形状の橋梁であり、移動作業車を用いた張出し架設工法で施工する。張出し架設工法では、型枠組立て、鉄筋・PC 鋼材組立て、コンクリート打設などの施工管理や検査の段取り作業をサイクル施工の中で何度も繰り返し行うことになる。このため、現場職員の業務負担の軽減に有効な ICT を本工事に導入することで、省力化を図った。



ICT の全体概要

現場での適用

本橋では、測量、設計照査、施工計画、施工管理、検査および安全管理の各段階を対象として、費用対効果や実施工程、システム開発の実現性などを総合的に判断し、導入する ICT を選定した。その結果、UAV、自動追尾トータルステーション、GNSS などを活用した様々な ICT を実施した。導入した主な ICT の概要を以下に示す。

1) 橋梁 3 次元モデル作図システム (SMC-Modeler)

施工計画時に、設計データを活用して高精度かつ簡易にモデリングできる橋梁 3 次元モデル作図システムにより主桁の 3 次元モデルを作成した。このモデルを、PC 鋼材の干渉チェックや、UAV 測量による地形データと組み合わせた施工中・完成イメージ動画や模型の作成に使用した。これらは、施工検討や地域住民への説明手段として有効に活用した。

2) 自動追尾トータルステーションによる位置計測システム (SMC-One ナビ)

独自に作成したスマートフォン専用アプリで自動追尾トータルステーション (以下 TS) を制御し、以下に示す 2 項目の施工管理項目について計測結果を自動調査化することにより、PC 上部工の施工管理で行う測量業務を省人化するシステムを開発・導入した。

①張出しブロック型枠セット

型枠セット位置ではTSを用いて1人でも測量できる本システムを適用し、施工管理業務の省力化を図った。専用アプリには、あらかじめ設計座標や上げ越し量などのデータを計画値として読み込み、これを基に自動的にTSが計測点を視準するように制御し、リアルタイムにスマートフォンの画面に計画値と計測値の誤差を表示させた。型枠の高さを調整している間も、型枠上の測点を常時計測し続けるため、1人で測量できるだけでなく測量時間も短縮でき、大幅な省力化が図れた。



型枠セット測量状況

②PC 鋼材配置高さおよびかぶり厚

PC 鋼材の配置高さやかぶり厚の検測は、本システムを用いた計測方法によって省力化と計測精度向上を図った。本システムは専用アプリの自動計算により、シー管や鉄筋を計測すると瞬時に天端からの下がり量が算出され画面表示できるものである。また計測データは無線通信でクラウド上に転送し、自動調書出力させる仕様とした。



PC 鋼材配置高さ検測状況

3) 出来形検測システム

本工事では、大型デジタルノギスやデジタルスケールとスマートフォンを無線通信させ、ワンタッチで計測データを取り込み、調書出力まで自動的に行うシステムを開発、導入した。検測そのものの時間は従来と変わらないが、調書への手書き記入とパソコンでの手入力の手間が省けるため、一定の省力化を図ることができた。



出来形検測状況

4) GNSS クレーン監視システム

3次元モデルを活用して、国道395号に隣接する施工ヤードでのクレーン作業において、国道上へのブームの侵入を防ぐ対策として、GNSSでクレーンブームの位置を監視するシステムを適用した。ブーム先端に設置したGNSSアンテナがあらかじめ設定した制限範囲に接近、侵入すると警報を発する仕様としている。事務所のパソコンでは、専用ソフトウェアによりブームと制限範囲との位置関係を3Dバーチャル空間上で瞬時に確認することができた。

5) プラットフォーム (SMC-Bridge)

本工事の施工管理にはさまざまなICTを導入し、関連するデータも多岐にわたることから、各システム一連のデータを共通のプラットフォーム上で一元的に管理し、すべての関係者間で情報を共有できるシステムを構築することで共有化を図り更なる省力化を行った。

所在地:	岩手県久慈市	構造形式:	PC7 径間連続ラーメン箱桁橋	橋長:	497m
竣工年:	2018年	有効幅員:	11.300m~16.052m		

Ⅱ 生産性向上を進めるうえで成果のあった事例

取組み事例の分類

1. ICT を活用した事例

掲載頁	会社名	A	B	C	D	E	F	G	H	I
43-44	安藤・間		○							
45-46	奥村組	○	○					○		
47-48	鹿島建設		○		○			○		
49-50	熊谷組		○							○
51-52	熊谷組		○		○					
53-54	五洋建設		○					○		
55-56	清水建設		○			○				○
57-58	大成建設		○					○		
59-60	竹中土木		○					○		
61-62	鉄建建設		○					○		
63-64	東亜建設工業		○					○		
65-66	東洋建設		○							○
67-68	西松建設	○	○							○
69-70	フジタ		○							○
71-72	フジタ	○	○							○
73-74	前田建設工業		○					○		
75-76	前田建設工業	○	○					○		
77-78	三井住友建設		○							

2. ICT 活用以外の事例

掲載頁	会社名	A	B	C	D	E	F	G	H	I
79-80	大林組			○						○
81-82	奥村組						○			○
83-84	鹿島建設					○				○
85-86	熊谷組					○				○
87-88	鴻池組						○			○
89-90	五洋建設						○			○
91-92	清水建設			○			○			○
93-94	銭高組						○			○
95-96	大成建設			○			○			○
97-98	竹中土木			○			○			○
99-100	東急建設									○
101-102	東洋建設						○			○
103-104	飛島建設						○			
105-106	西松建設			○						○
107-108	前田建設工業						○			○
109-110	三井住友建設			○			○			

A	3D測量	D	業務効率化	G	施工管理
B	ICT 活用	E	新技術	H	育成
C	PCa	F	創意工夫	I	その他(施工効率)

ICT 施工による生産性向上の取組み

トンネルの発破掘削における ICT の活用

1. 工事概要

当工事は、岩手県宮古市に位置する延長 1493.1m の新箱石トンネル（仮称）を構築する工事である。当該トンネルにおいては、効率的にトンネル掘削を進めるために穿孔ナビゲーション付きドリルジャンボ、穿孔データを使用してトンネル切羽の安定度を予測する TFS-learning、掘削発破により発生する弾性波を利用した切羽前方探査（TFT 探査）などの ICT を用いて生産性の向上に努めた。

2. 穿孔ナビゲーション付きドリルジャンボの採用

当工事では、生産性の向上に努めるため、穿孔能力が高く、穿孔支援システムを搭載している穿孔ナビゲーション付きドリルジャンボ（古河ロックドリル JTH3200R-III PLUS）を採用した。このドリルジャンボは、計画発破パターンとドリフタの現在位置が、図 1 のように運転席のナビゲーション画面に表示される。オペレーターは、図 2 に示すようなナビゲーション画面に従って、穿孔位置にドリフタを簡単に誘導できるため、高い専門技術を必要としない。実際の施工では、掘削面の出来形計測結果やドリルジャンボから得られる機械データの収集・分析を行い、最適な発破パターンを設計することで、穿孔サイクルが低減しただけでなく、余掘りも 10cm 程度低減し、正確にトンネル断面を確保することができた。



図 1 ドリルジャンボの運転席

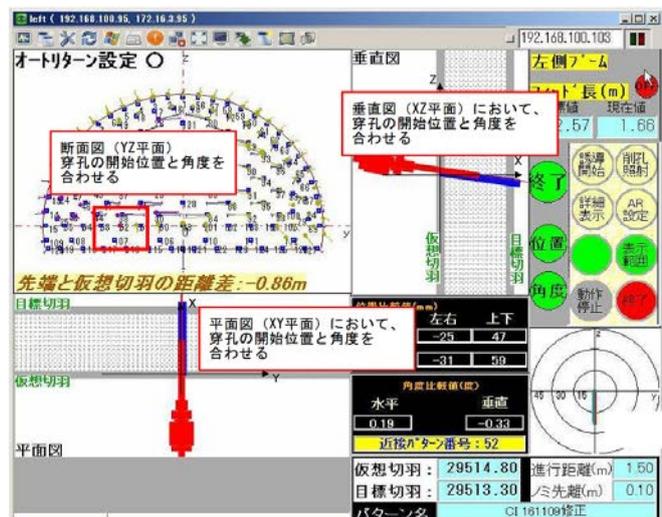


図 2 穿孔ナビゲーション誘導画面の例

3. トンネル切羽安定度予測システム（TFS-learning）

当工事では、切羽の安全対策として、トンネル切羽安定度予測システム（TFS-learning : Tunnel Face Stability calculate system machine learning）を採用した。TFS-learning は、穿孔ナビゲーション付きドリルジャンボで発破孔を穿孔する際に得られる穿孔データ（穿孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧）と切羽評

価点を指標に、発破後に露出する切羽の安定度を予測するシステムである。発破孔の穿孔時に次の切羽の安定度が図3のようなコンター図で把握できるため、不安定箇所では、装薬量を減らしたり、穿孔間隔を広げるなど、施工性の向上にもつながる。実際の現場においては、昼夜勤の申し送りの際、これまでは、職長同士が口頭で切羽の地質状況を申し送りするのが一般的であったが、図4に示すようにTFS-learningの予測結果を利用することで、切羽の状況が把握でき、切羽直下で作業する作業員の安全が向上されると共に作業員の安全意識も図られた。

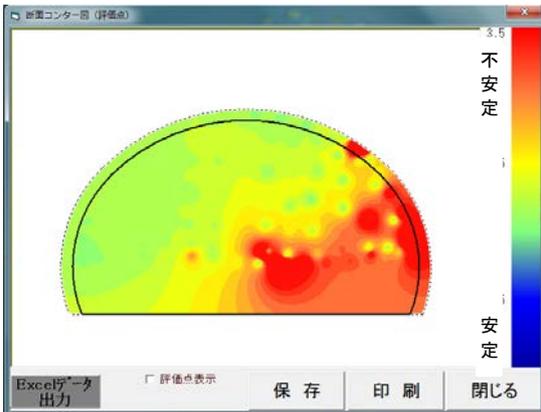


図3 TFS-learningの予測結果例



図4 切羽の申し送り状況

4. 弾性波を利用した切羽前方探査システム (TFT 探査)

当工事では、事前の調査で把握できない断層や不良地質の存在を把握するために、切羽前方探査システム (TFT 探査) を採用した。図5に示すように、TFT 探査は、断層や地質境界からの反射波を捉えることで切羽前方約 150m までの脆弱部の位置を把握するシステムである。実際の現場においては、TFT 探査で反射面が確認された区間において、地質の変化を事前に予測したため、慎重に施工を行ったところ、亀裂が多い脆弱部の出現を確認した。なお、TFT 探査結果と実際の切羽状況を比較したところ、破碎帯や地質境界の位置を 70%以上の高い確率で捉えることができ、対策工の検討や実施に有効活用することで、安全で効率的な施工が実施できた。

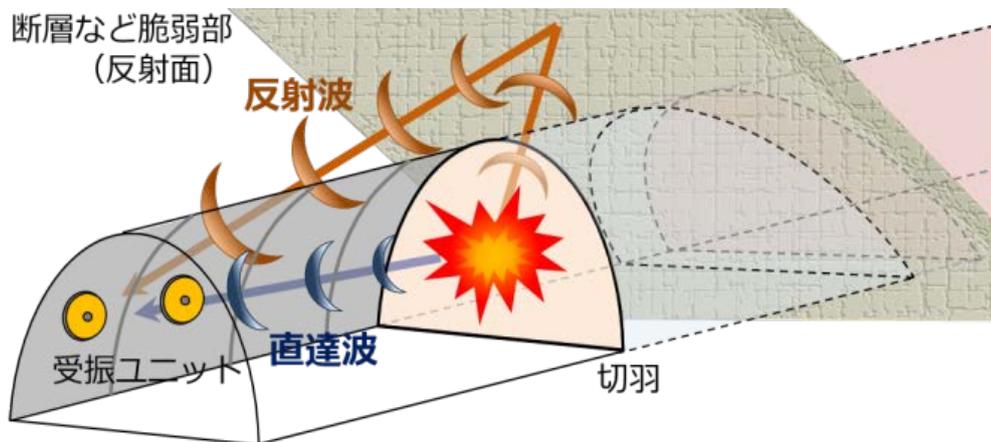


図-5 TFT 探査の概略図

5. まとめ

ICT を活用することで、トンネル掘削の生産性が向上するだけでなく、安全性も向上する。今後も ICT を用いてトンネルの生産性の向上に努め、建設業における安全性の確保・省人化・省力化に寄与する。

トンネル出来形管理の ICT 化

MMS を活用した出来形管理の効率化

工事概要

本工事は、広島県呉市から三原市に至る国道 185 号において、呉市内の中央地区と阿賀・広地区とを結ぶ「休山新道」を 2 車線から 4 車線化するために、既道路トンネルに並行して新設のトンネルを構築する工事である。

MMS の活用

トンネル工事での出来形断面管理は、テープ、標尺、高所作業車やトータルステーション (TS) 等を用いた計測を行っている。近年、国土交通省の CIM 導入ガイドライン(案)に関する「レーザーキャナーを用いた出来形管理の試行要領(案)(トンネル編)」において、面的な 3 次元データが取得可能な地上レーザーキャナー (TLS) 計測による効率化が謳われている。しかし、TLS は、一定区間ごとに機器の設置・計測・移動を繰り返すため、まだまだ計測に時間と手間を要している。そのため、車両を用いたモバイルマッピングシステム (MMS) を使用し、車両を走行しながら周辺の形状を面的な 3 次元データ (3 次元点群データ) を取得することで、さらなる計測、管理の効率化が図れると考え取り組んでいる。



MMS による計測状況

3 次元点群計測

トンネル工事において、吹付けコンクリート工完了後と覆工コンクリート打設完了後に、TS、TLS、MMS での計測を実施し、比較を行った。計測精度については、MMS が TLS と同程度の精度であることが確認できた。作業時間については、坑口から 300m 区間の計測に要した時間で比較した。TS の作業時間が 60 分、TLS が 120 分であったのに対し、MMS は 6 分と大幅に作業時間を削減した。トンネル内での計測時間を短縮することで、施工への影響も抑えることができると考えられる。

※作業時間は、計測前のターゲット設置等の準備時間を除いた計測のみに要した時間



TS、TLS による計測状況

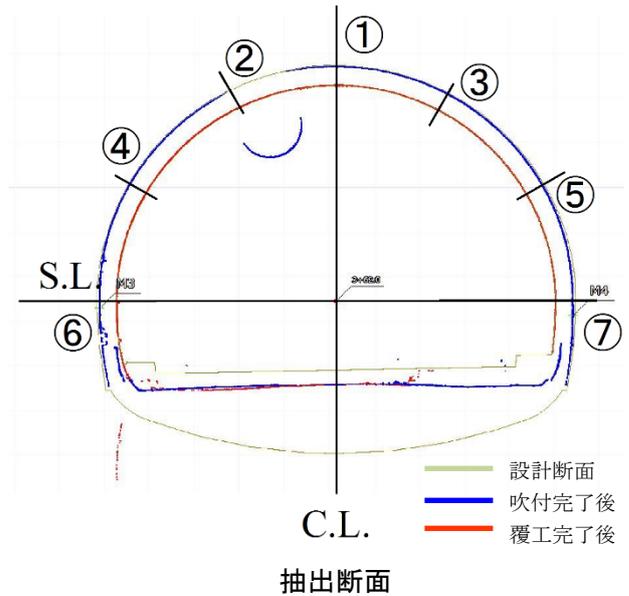
計測作業時間

作業項目	作業時間	内訳
TS	60分	設置・計測・移動×3断面
LS	120分	設置・計測・移動×6回
MMS	6分※	移動計測×1往復

※別途トンネル外での計測準備に50分要する

トンネル出来形管理への適用

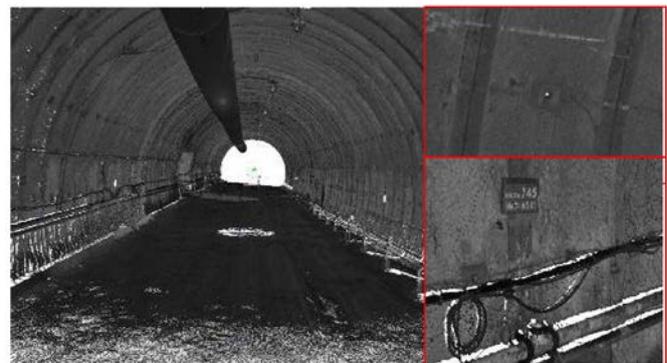
計測により得られた3次元点群データを使用し、トンネル出来形管理の効率化を図った。内空高や内空幅については、管理断面における断面形状と設計断面を比較し算出する。コンクリートの覆工厚については、吹付けコンクリート工完了後と覆工コンクリート打設完了後の2時期の計測点群データの差分より容易に算出することができる。また、管理断面以外の任意の箇所での出来形の確認が可能となる。



3次元点群データの活用

3次元点群データを出来形管理にだけでなく、様々な管理に活用することで、業務の効率化を図った。吹付けコンクリート施工後の3次元点群データを反射強度で表示することで、支保工、ロックボルトの位置等が確認でき、覆工後でも実施工の位置等の確認が可能となる。

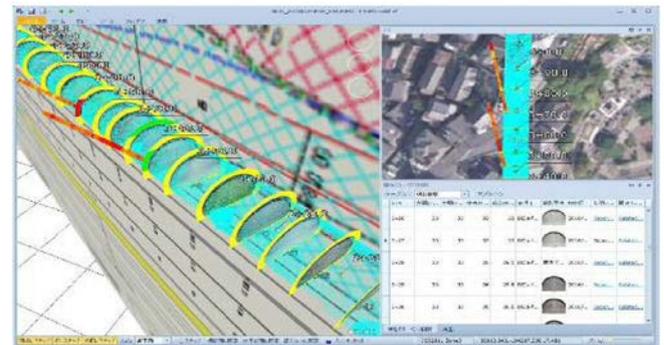
3次元CIMモデルに3次元点群データを取り込むことで、施工情報の見える化を行い、施工管理や供用開始後の維持管理などにおいて、切羽観察記録、支保工の状況等の施工時の情報確認ができる。



3次元点群（反射強度）

まとめ

トンネル出来形管理において、ICTを活用することで、管理業務の効率化ができた。しかし、例えば、計測全体業務において、トンネル坑外にある工事基準点を坑内に設置することで準備時間も含めた時間短縮が出来るなど、改善点は多々ある。課題を抽出し解決するとともに創意工夫を重ね、ICTを活用することで、さらに生産性向上に寄与することができると思う。



施工情報の見える化



切羽モデルと点群及び切羽観察記録

IoT を活用した「建設現場の見える化」

資機材・人の位置情報のリアルタイム把握による現場管理の効率化

1. 現場管理における現状の課題

現場管理における現状の課題の一つに、現場状況の把握が困難であることが挙げられる。現場把握が困難ゆえに不十分となることで、資機材の探索・集積に時間が掛かり、また余剰資機材も発生するなど、モノ・人が非効率・非経済的となっているおそれがある。

このような課題に対処するため、鹿島では、最新の IoT 技術を活用したデジタル現場情報の一元化による「建設現場の見える化」に取り組んでいる。

2. 取組概要

本取組は、資機材・人の位置情報について、リアルタイムかつデジタル化しての把握・共有を可能とすることで、現場管理の効率化を図ることを目的としている。さらには、集約した多くの現場実績データを分析・展開していくことで、新たな建設生産の仕組みの構築を目指す。本取組の概要について以下に記す。

(1) 機械のリアルタイム位置情報・稼働履歴の表示

社内外の既存システムとの連携により、GPS を活用して機械のリアルタイム位置や稼働履歴について、スマートデバイス・タブレット上でリアルタイムに計測・表示することが可能となる。

○フィールド業務支援ツール「iField」(図2)

重機運転席に取り付けた発信機を用いて位置を GPS 測位し、携帯網を活用することで、インターネットブラウザ上の現場図面上への位置表示が可能。山間部等の携帯電波が繋がらない場所でも広域無線 LAN による送信が可能。市販製品をベースに当社にて改良を実施。

○車両運行管理システム「スマート G-Safe」(図3)

ダンプトラックのリアルタイム位置情報や積荷内容等についての把握・一元管理が可能となり、運転手に対して現場事務所等の遠隔からでも適切かつタイムリーな指示が可能。



図1 建設現場の見える化のイメージ



図2 iFieldによる重機位置把握



図3 スマートG-Safeによる遠隔監視

○ビーコンを用いた安全管理（図4）

技能者のヘルメットにタグ（ビーコン）を取り付け、ヤード内に設置した受信機からの電波到達角度を測ることで、0.5~1.0mの精度で人と機械の位置をリアルタイムで計測することが可能。鉄道営業線との近接作業における安全対策として導入済。



図4 ビーコンを用いた安全管理

(2) 日常管理業務の効率化

機械稼働データの自動収集機能により、これまで大きな労力が掛かっていた機械稼働・運搬土量に関する日報・月報等の自動出力が可能となり、管理書類作成の効率化を実現した。遊休資機材の把握も容易となる（図5）。

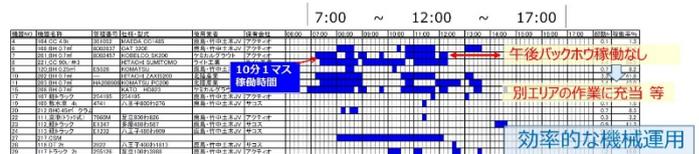


図5 稼働日報の自動出力

(3) 出来高管理・品質管理への展開

機械の稼働実績や土量数量等の施工データの分析・評価に基づいた、品質・出来高・安全管理への活用手法に関する実証検討を実施している。

○品質管理への活用事例（ダム工事/図6）

生コン製造・出荷・運搬・打設記録の一元管理によって、徹底したトレーサビリティ管理が可能。また、自動作成される打設記録（打設時間・数量、作業経過状況等）の分析により、打設方法の改善については品質向上に繋げることが可能。

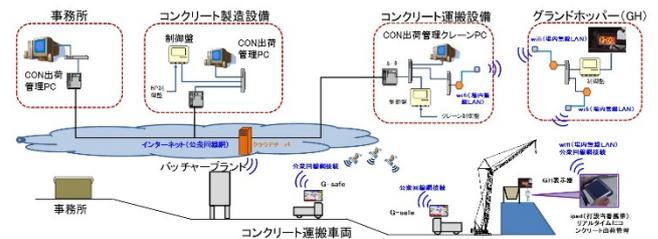


図6 ダム工事における品質管理への適用イメージ

○出来高管理への活用事例（造成工事）

ダンプ運行・稼働実績と土量数量結果を組み合わせ、エリア毎の適切な重機配置の検討や原価把握を行うことが可能。

3. 今後の展開

「現場見える化システム」を当社土木部門のIoTプラットフォームのベースと捉え、引き続き機能拡張を行うとともに、解析CIM等の社内システムとの連携を進めていく。また、建機メーカーが保有する機械稼働データや、地図・測量データ等の外部データの共通化も視野に入れた働きかけも行い、建設業界全体のさらなる生産性向上・安全性向上に取り組んでいく。

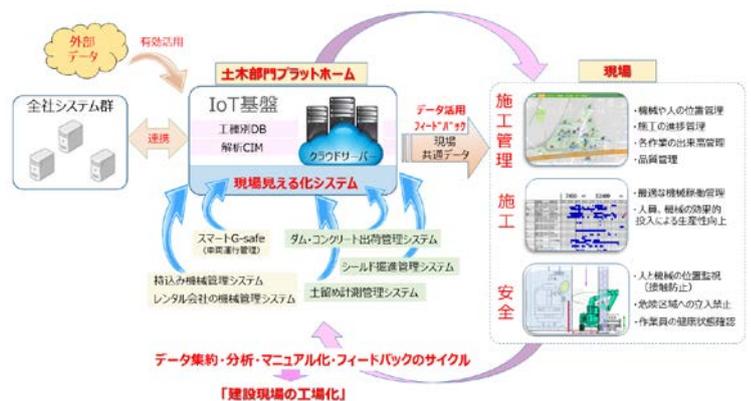


図7 建設現場の見える化による現場管理の将来像

鹿島では、「建設現場の見える化」によって得られる現場データの詳細分析を行い、徹底した施工の標準化・マニュアル化を進めることで、建設現場に対する社員の意識改革も促しながら、自動化施工に代表される「建設現場の工場化」を大きな目標として、引き続き積極的な取組を進めていく。

ICT 建機の活用による生産性向上

掘削・柱状改良杭工事に ICT 建機を活用した省人化と安全性向上

1. ICT 建機の導入

昨今の作業員不足・高齢化をふまえ、短工期施工を実現するために、掘削柱状改良工事に ICT を活用した建設機械を導入した。今回採用した ICT 建機は、油圧ショベルに GNSS（グローバル衛星測位システム）による位置情報を利用したマシンガイダンスとアーム制御システムを搭載した重機である。

ICT 建機内には、12.1 インチのモニターが搭載されており、バケットの鉛直方向・水平方向の情報が表示され、バケットの動きをナビゲーションできる。

オペレーターにバケットの操作ガイドを表示することで作業の丁張りが不要となり作業の効率化を図ることができる。

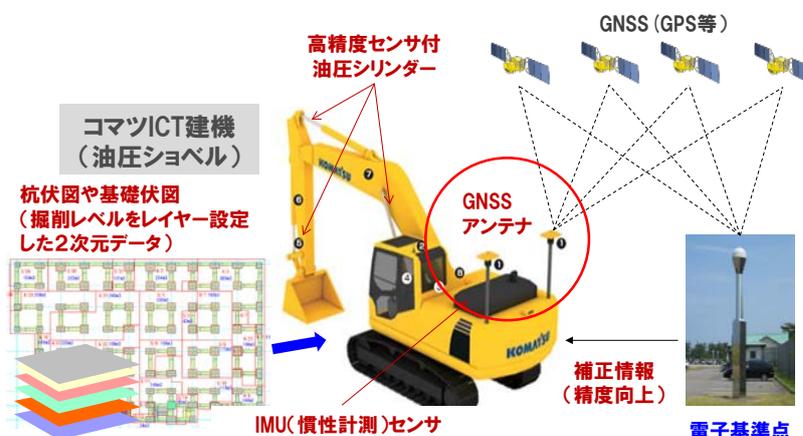


図1 ICT 建機概要

2. ICT 建機の機能と利点

(1) 自動整地アシスト機能 (図2)

アームやブーム位置を自動制御して、バケットの刃先を設定したレベル（設計面）でトレースする機能を搭載している。

(2) 自動停止制御 (図3)

バケット刃先が設計面を傷めないようにアーム・バケットを自動停止する機能がある。

(3) 利点

- ①建機によるレベル制御により、設定した掘削深さ以上、掘削することがなくなり、人的誤差、手戻りを防止できる。
- ②オペレーターが位置情報を取得できるため、掘削位置・レベル確認の作業を省略できる。
- ③バケットの刃先が設計面に沿うように自動制御されるため、オペレーターの技術に依存せず、高精度を確保できる。
- ④セミオート制御による掘削のため重機周辺への人の立入りが少なくなり、掘削底での合番者によるレベル確認も不要のため、掘削開口部への転落リスク、重機との接触リスクをなくすことができ、安全性が向上する。



図2 自動アシスト機能



図3 自動停止制御

3. 活用事例

掘削工事とともに、ICT 建機の GNSS による位置情報とバケット刃先の制御機能を利用して、測量工による杭芯位置出し作業を省略した。また、杭頭処理作業にも GNSS による位置情報とアーム制御システムを利用して、杭頭処理作業の効率化と安全性向上を図った。

(1) 柱状改良杭の芯位置出し

墨出し作業は、バックホウのバケット位置から柱状改良体の設計芯を確定し、杭芯金物の打込みにより行った。改良杭の芯の位置出しは、バックホウのオペレーターが直接モニターで確認出来るため、バックホウが旋回出来る範囲だけ鋤取り整地を完了させれば位置出し可能となる。

鋤取り整地も同建機を使用して併行して施工することにより、整地のレベル確認が不要となり、タイムロスなく施工することができた。

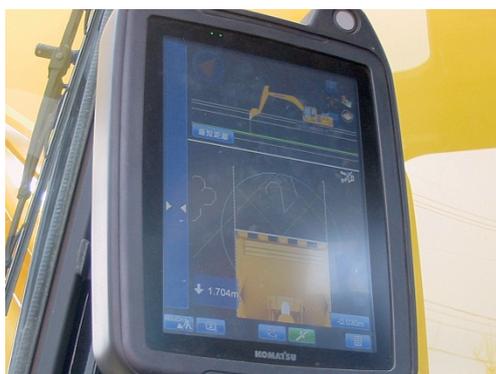


写真1 モニターによる杭芯確認



写真2 バケットによる杭芯位置出し

(2) 柱状改良杭の杭頭処理

従来は、改良杭施工個所の目印のために窪みを付けるなど施工個所を平坦に埋め戻さず段差が生じていたため、杭頭レベル確認では不安定な姿勢での作業となっていた。

GNSS による位置情報を活用することで目印不要となり、平坦な作業地盤を確保できた。また、アーム制御システムを使用することで、杭頭レベル確認者の合番者が必要なくなり、省人化とともに安全性向上が図れた。



写真3 ICT 建機による杭頭レベル確認

4. 効果

柱状改良杭の位置出しと杭頭処理に ICT 建機を活用した結果、従来工法に比べて、鋤取り整地・柱状改良工事で工程を 2.2%削減、杭頭処理では工期 20%、労働力 25%削減でき、省人化による生産性と安全性の向上を十分に図ることができた。

また、コスト面では、従来建機のリース料に比較し ICT 建機のリース料が高額なため、メリットは得られていないが、省人化を含めたトータルコストでは従来工法とほぼ変わらない結果であった。

音声入力機能付き水準測量支援アプリケーションを用いた業務効率化

水準測量の計測値の読み取りから入力、計算までを同時に実施

水準測量支援アプリケーション「VOISL（ボイスル）」による生産性向上の取組み

●はじめに

建設現場においては、測量が作業時間に占める割合は大きく、かつ自動化は難しい工種であることから、専用のアプリケーションの開発により、生産性向上を図ることは有用と考えられる。そこで熊谷組では、建設現場で日常的に行う水準測量に着目し、効率的に測量を進めるための支援アプリケーションとして音声入力機能を有する「VOISL（ボイスル）：Voice Input System for Leveling」を開発した。

●VOISL の特長

一般に、水準測量の結果の整理方法は、電卓を用いて計算し、野帳に手書きで記録することが多く、デジタル化が進行している建設業界において比較的アナログな方法と言える。

一方、VOISL は、従来の水準測量の際に必要であった野帳・電卓・ペン・図面を用意することなく、タブレット端末のみで、測量から計算、結果の出力までの測量作業を効率よくスムーズに進めることが可能なアプリケーションとなっている。



VOISL による水準測量実施状況



タブレット端末（VOISL 入力画面）と
音声入力マイク付きイヤホン

VOISL の主な特長は、以下に示すとおりである。

- ・タブレット端末と接続したマイクを使用し、読み値を音声入力できるため、標尺を視準しながら、野帳を見ることなく、数値入力ができる。
- ・音声入力した数値は、アプリケーションが自動的に数値を復唱するため、イヤホンから入力した数値に間違いがないか確認ができる。
- ・既知点の標高、標尺の読み値を入力することで、機械高や地盤高を自動計算できる。
- ・測定前に計画高を入力することで、実測値との差を自動的に算出できる。
- ・既知点の標高や計画高を事前に登録でき、呼び出すことができる。

- ・測量結果は、クラウドに保存することにより、事務所に設置したパソコンともデータの共有ができる。
- ・現地の図面を表示することが可能で、測定位置などのメモを手書き入力でき、野帳の替わりとなる。
- ・図面と測定値をリンクさせることにより、図面から既知点データを呼び出すことができる。

●VOISL の効果

従来の水準測量では、以下の手順で作業を行っている。

- ①標尺の目盛りを読み取る。
- ②読み値を野帳に記入する。
- ③地盤高を電卓にて計算する。
- ④計算結果を野帳に記入する。

一方、VOISL による水準測量では、目盛り（計測値）を読むと同時に入力および計算が完了することから、従来は 4 回の手順であったものが下記のように 1 回の手順で完了する。

- ①標尺の目盛を（声を出して）読み取る。同時にタブレット端末へ読み値が入力され、アプリケーション上で地盤高が自動的に算出される。

なお、ほかにもタブレット端末にて水準測量を行うアプリケーションは存在しているものの、これらには、音声入力機能が無いために、「②読み値を野帳に記入する」という作業の代替として「読み値をタブレット端末に入力する」という作業が発生する。



従来の水準測量と VOISL による水準測量との比較

このように、VOISL を用いることにより、測量から計算・結果記入の作業がタブレット端末のみで行うことができ、加えて測量と同時に計算結果の入力まで計算ミスすることなく行えるため、従来の方法と比較して測量時間を短縮することができた。特に音声入力機能を備えたことにより、単純に時間の短縮だけでなく、入力値の自動復唱機能により誤入力を減らす効果も見込める。以上のことより、水準測量結果の入力作業の効率化を図ることができ、生産性の向上につながった。

五洋土工情報収集システム (i-PentaCOL) による生産性向上

多種多様な ICT 建設機器を統合し、一つのシステムとして活用

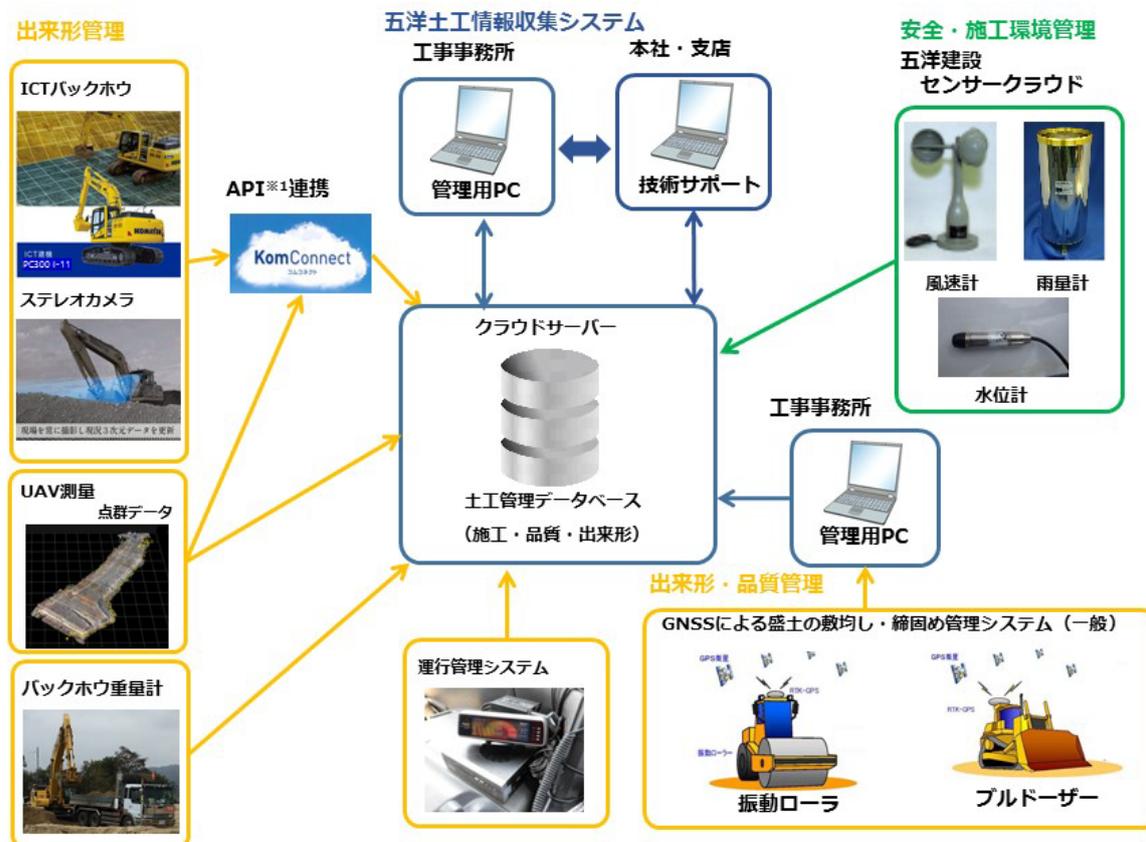
開発の背景およびシステム概要

一般的な ICT 土工事では、バックホウを管理するシステムやブルドーザの管理システム等、複数の重機や機器ごとに異なる施工情報を現場職員がデータ収集し、管理を行っている。

最近では、クラウドにデータを集約し、独自のソフトウェアで多様なデータを統合する取組みも進んでいるものの、複数のクラウドを相互に連携させて自動的にデータを集約するシステムは存在していない。また、建設現場では ICT 化の進展により現場職員が複数のシステム操作や管理に時間をとられることが新たな負担となっており、システム操作や管理に関わる時間の短縮が要求されている。

今回紹介する「i-PentaCOL」を導入することによって、複数メーカーの施工機械や測量機器のデータを自動的に集約し、利用者が一つのシステムとして操作することが可能となる。

本システムでは、多様な機器の ICT 施工情報から自動的にデータを当社のクラウドサーバーに集約させ、さらに各システムを連携することにより、次のことが可能となる。



※1 API: プラットフォーム側の汎用性の高い機能を外部から手軽に利用できるように提供する仕組み

五洋土工情報収集システム概要

1. 一つのシステムですべてのデータをまとめて処理できることにより、複数システムの操作を必要としなくなるため、職員の負担を軽減することができる。
2. ダンプトラックに積載した土量や土取場の情報、積んだ土の運搬場所、盛土箇所といった土工事の施工記録（トレーサビリティ）を簡単に把握することができる。
3. 日々の切土・盛土の出来高や土量変化率の管理に必要な以下の①～③のデータを取得できる。
 - ①掘削土量：ICT バックホウの刃先の軌跡データやステレオカメラ等による地山の測量データ
 - ②積込量・台数：バックホウ重量計による計測データ
 - ③盛土量：振動ローラに取り付けられた GPS の位置情報や高さデータ
4. 種々のセンサークラウドを使用し、風速計や雨量計等の観測データを集約する。風速・風向や雨量等のデータから、飛散対策の実施や工事中止の判断を速やかに行い発信することで、環境の維持や安全確保の実施が可能となる。

カスタマイズ帳票について

i-PentaCOL では、収集したデータから必要な帳票を職員が手を加えることなく出力できる。さらに、収集したデータをカスタマイズして独自の帳票を作成できるため、現場ごとに異なる帳票を作成できる。このため、帳票の作成にかかる時間を大幅に削減することとなり、現場の生産性向上につながる。



出力した帳票

i-PentaCOL
五洋土工情報収集システム

各種データ確認 | 盛土施工管理 | データ管理

トレーサビリティ | センサークラウド | 積込土重量

掘削土量 | 運行管理

To Do [2018.11.26]

- 積込・荷降ろしエリア登録
- 各種センサーデータの受信
- 運行管理帳票の出力
- 敷均しデータの受信

気象計 観測データ
2018年11月26日 10:25観測結果

気温 11.6℃ 湿度 56%

熱中症指数 安心 不快指数 何も感じない

風向 北西 風速 2.4 m/s

降水量 1時間 0.0mm 本日 0.0mm

運行管理

端末番号	実・空	回数	電源	端末番号	実・空	回数	電源
001	実	3	○	011	空	4	○
002	実	3	○	012	空	4	○
003	実	3	○	013	空	4	○
004	実	3	○	014	実	3	○
005	実	3	○	015	実	3	×
006	実	3	○	016	実	3	○
007	空	4	○	017	実	3	○

i-PentaCOL トップページ (例)

まとめ

多種多様な ICT 建設機器は大変便利なものではあるものの、複数のシステム操作や管理が現場職員の労力となっていることが多い。

延長約 11 km、土工数量約 80 万 m³の道路工事現場で ICT バックホウ 1 台、ブルドーザ 2 台、振動ローラ 2 台を稼働させ、約 6,000 m³/月の土工事に本システムを運用したところ、2 名の担当職員のデータ処理や機器操作に必要な時間を 1 人当たり 1 日約 1.2 時間低減することができた。

重量物鉄筋組立の生産性向上（配筋アシストロボ）

センシング技術・ロボット技術を使って重量物鉄筋組立作業をアシスト

1. 開発の背景

建設業においては、コンクリート構造物が構造体として広く用いられている。コンクリート構造物を作るときには、一般的に鉄筋を組み立ててからコンクリートを流し込む。近年の耐震化基準の強化により、この鉄筋が太く、高密度になる傾向があり、鉄筋組立作業の負担が増加している。さらに、施工条件によっては、クレーン等の揚重機械が使えず、人力で鉄筋組立をおこなわなくてはならない場所がある。このような場合には非常に大きな負担となり、生産性が低下している。

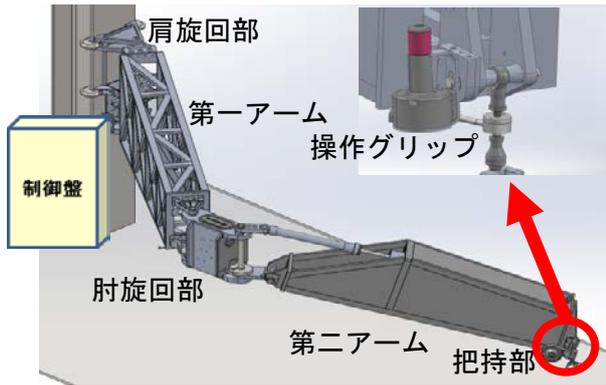
そこで、センシング技術・ロボット技術を使って鉄筋組立作業をアシストできる、人間の腕のようなロボットアーム型の作業支援ロボット（写真1）を開発した。



【写真1 配筋アシストロボ全景】

2. 技術の概要

このロボットは、センシング技術により、先端の操作用グリップを動かしたい方向に押すだけで、まるで自分の腕のようにアームを自由に動かせる。鉄筋の重量はアームが持ってくれるため、重い鉄筋でも軽々と移動することができる。さらに、手の微妙な動きも操作用グリップに内蔵した6軸力覚センサーが感知し、アームが自動で動作する。したがって、まるで自分の手のように自由自在にロボットアームを動かせるので、操作者のノウハウを生かした動きが可能である。図1に構造概要図、表-1に諸元表を示す。なお、このロボットは、人で運べる重量以下に分割可能で、クレーンが使用できない場所でも分割して持ち運ぶことができる。したがって、クレーンが使用できなく作業負担の大きい場所での使用が可能である。また、現状ではH鋼材に取り付けて使用するが、H鋼材以外でも取り付けることは可能である。



【図 1 構造概要図】

【表 1 諸元表】

定格荷重	250kg
作業半径	約 5.3m
揚程	約 2.0m
分割数	4 分割
入力電源	三相 AC200V
水平方向 操作方法	操作グリップ式 (6 軸センサー内蔵)

3. 現場への適用

適用した鉄筋組立工事について、以下にその結果の一例を示す。(表 2 適用結果例) ここでは生産性を定量的に評価する指標として、1分で1人あたりが施工した鉄筋重量を「物的労働生産性」と定義して比較した。適用結果例では、労働生産性は約 1.9 倍となった。使用するためには山留め杭 (H 鋼材) などに取り付ける (写真 1 参照) 必要があり、生産性向上効果を述べるには、この設置・解体作業時間を考慮する必要がある。この場合は、考慮しても約 1.4 倍の生産性向上効果があった。

【表 2 適用結果例】

対象鉄筋 D51L=10m, 6.5m 各 15 本	本技術 (A)	従来 (B)	(A)/(B)
鉄筋組立時間 (分)	120	150	0.80
鉄筋工数 (人)	4	6	0.67
物的労働生産性 (施工量 (kg)/(工数 (人) × 時間 (分))	8.33	4.44	1.88
一人あたり重量負担 (kg)	0	28	
(参考) 準備・解体時間 (分)	20+20	0	
準備解体を含めた物的労働生産性	6.25	4.44	1.41

4. 効果

1) センシング、ロボット技術の導入による人協働ロボットの実現

本技術により、人は重量物を自分自身で持ち上げなくても移動させることが可能となった。これにより、建設業においても力仕事はロボットで、ノウハウは人で、という「人とロボットの協働作業」が可能となった。

2) 生産性の向上

重量のある鉄筋作業において、生産性の向上効果を確認した。

3) 省人化、省力化

本技術を使用することにより、従来よりも少ない人数で楽に作業が可能となった。

4) 安全性向上・労働環境の改善

自分自身の操作で作業を行うので、危険を感じた場合にすぐ作業がストップでき、安全性が向上した。また、人間は力を使わずに重量物を移動できるため、労働環境の改善につながる。

i-Construction の流れに沿った現場打ちコンクリートの生産性向上

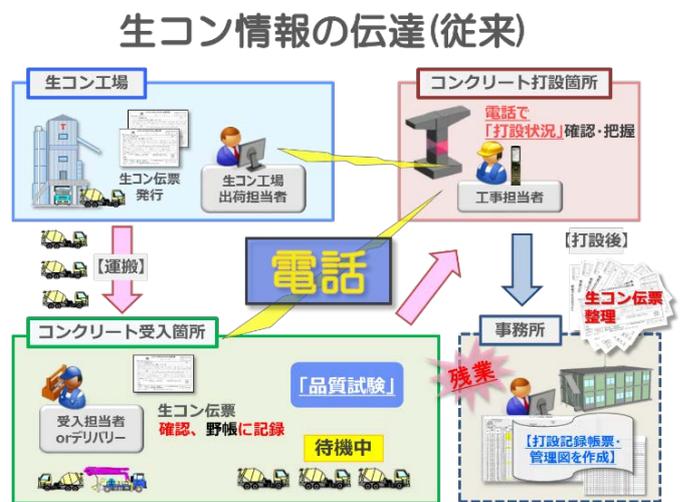
T-CIM/Concrete の開発・展開

1. 現状の管理手法の課題

生コンには練混ぜ開始から打設完了までの時間（可使時間）が規定されており、施工者はそれを厳守するように施工計画を立案し管理しなければならない。しかしながら、生コンは練混ぜ開始から現場に到着するまでは、我々施工者ではなく製造者の管理下にあるために、生コン車が現場に到着し、担当者が伝票を確認するまで、当該生コンがいつ練混ぜを開始され、どの位時間が経過しているのかを知ることが出来ない。

同様に生コン工場においても、打設現場の状況をリアルタイムに把握する術はなく、せいぜい双方が「電話」を介して状況を確認し合い調整しているのが実状である。

一方、打設管理書類（帳票）については、伝票や野帳に記載した「手書き情報」を元にして、打設作業完了後に担当者や工務担当者が残業にて作成している。（右図参照）



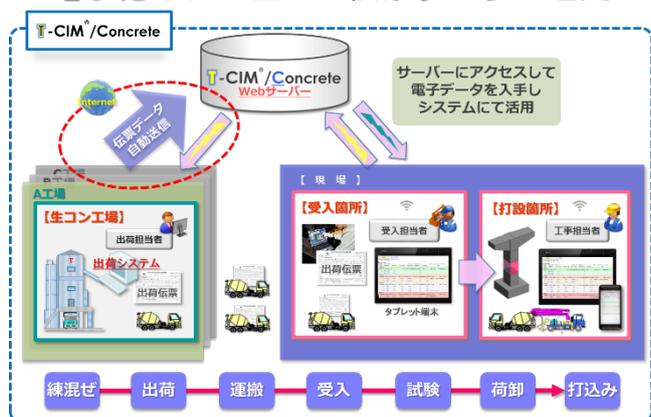
2. 新システムの概要および特徴

国土交通省より《2017年度 i-Construction 推進（新）ロードマップ》において、コンクリート工の生産性向上を目指し「サプライチェーンマネジメントの導入」が提唱され『生コン伝票の電子化』が課題項目として抽出された。これと並行して、練混ぜ直後から施工者がリアルタイムに連続して管理することを可能とし、先ほど述べた管理上の課題を大幅に改善するシステム：T-CIM/Concrete を開発した。

システムの概要としては、生コン工場から練混ぜ開始と同時に伝票に記載されているデータを Web サーバーに自動送信することで、そのデータを工事関係者間でリアルタイムに共有し打設管理に活用しようとするものである。（右図参照）

打設時間管理のためには、特に《練混ぜ開始》時刻を正確に知ることが重要となるが、このシステムにより現場にてリアルタイムに正確に把握することができる。現場の状況に応じた効率的かつ最適な出荷管理を行うことで、現場での待機時間を

電子化された生コン伝票データの活用



最短化し、よりフレッシュな状態のコンクリートを打設することが可能となった。それによりコンクリート構造物の一層の品質向上が期待できる。

情報の共有には、PC、タブレット、スマートフォンを活用する。(下図は受入れ担当者の端末画面)

T-CIM®/Concrete携帯端末表示例

出荷種	運搬車番号	納入時刻	納入時刻	運搬(分)	打設開始時刻	打設完了時刻	経過(分)	納入(m³)	備考	品質試験
大成生コンクリート株式会社 新築工場										
7	【受領・返却】	09:17					1			
6	【受領・返却】	09:10					8			
5	【受領・返却】	09:05					13			
4	197	【修正】	08:59	09:18	19	【待機中】	【打設開始】	19	4.25	△△ブロック 底版
3	199	【修正】	08:53	09:13	20	【待機中】	【打設開始】	25	4.25	△△ブロック 底版
大成生コンクリート株式会社 入荷累計: 8.50m³										
2	482	【修正】	08:48	09:09	21	【打設完了】	30	4.25		
大成生コンクリート株式会社 打設累計: 4.25m³ (4.25m³/標準1h)										
1	553	【修正】	08:40	09:06	26	09:07	09:09	29	4.25	スランブ:13.5cm

表示欄の1行が生コン車1台の情報となり、出荷された生コンを【運搬中】【待機中】【打設中】【打設済】【返却】の5つのフェーズで管理し、順次【打設済】の欄に記録を蓄積してゆく。

リアルタイムに各生コン車に対して練混ぜからの経過時間が表示されるため、それを元に打設計画・作業を進めることができる。また各種品質試験結果は該当する生コン車の欄に記録できる。

現場受入担当者の業務となる「現場入場以降の《納入》《打設開始》《打設完了》の各時刻管理」については、タブレットやスマートフォンといった

携帯端末のタイムスタンプ機能により「ワンタッチ」で簡単に記録を逐次蓄積してゆく。

この手順を繰り返し、生コン車1台毎にリアルタイムに打設管理記録を作成してゆくことで、打設完了時点で管理記録の作成を完結できる。

そのため打設完了後は、事務所にてアウトプットするだけで提出書類としての帳票が完成する。また品質管理記録についても現地試験時に入力しておくことで管理グラフも自動で作成することができる。

これらの機能により、従来のコンクリート打設管理における担当者の業務を削減する。

なお生コンは、《工場》《配合》《打設箇所(コンクリートポンプ車)》別に管理することができ、これまでの実績では4工場、6ポンプ車で打設(2,400m³)にも対応できることを確認している。

このシステムの運用は、《Webサーバーを活用できるインターネット環境》と《タブレットやスマートフォンの情報端末》があれば可能で、特別なソフトのインストールは必要としない。

非常に安価であることに加え、現場担当者以外の工事関係者(発注者や本支店関係者等)とも同時に情報を共有することができるため、その面でも非常に汎用性・拡張性を有したシステムと考える。

3. 効果と今後の展開

T-CIM/Concreteの効果としては大きく次の3点があげられる。

- ・コンクリート品質の向上(品質確保)
- ・廃棄される残コンの削減(環境負荷低減)
- ・管理帳票作成時間の削減(労働時間短縮:生産性向上)

これらは、現在の我々建設業に従事する者に求められている喫緊かつ永遠の課題と言える。

また、システムの便益を『効果×対象数』で表すとした場合、このシステムは薄く広くという特徴を持つため、1企業に留まらずより広く展開することで便益はより一層高くなる。

現在、国土交通省が展開する『建設現場の生産性を向上する革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト』に採択され日建連と協働して実証中である。

それと併行し、「打重ね管理」「受入時間管理」「電子小黒板」等の機能や連携を強化している。



全自動施工管理が可能な小型地盤改良機による生産性向上への取組み

狭小地対応型 格子状地盤改良工法「スマートコラム工法[®]」

◆工法開発の背景

東日本大震災以降、既成の市街地や港湾施設など、従来の工法では対応困難であった狭小地における液状化対策ニーズが高まっている。こうした中、信頼性の高い液状化対策工の一つに格子状地盤改良工法（TOFT 工法）がある（図1）。しかし、従来の TOFT 工法では、施工機械の大きさから狭小地対応が困難で、一方、小型を特徴とする従来の宅地用改良機でも、機械の性能面で TOFT 施工に要求される壁状改良体構築には適していない。また、将来的には労働人口の減少により、経験豊富な地盤改良機オペレーターや管理職員の不足も懸念され、一つの解決策として ICT 等の活用による自動化施工への期待が高まっている。

そこで我々は、小型でも従来大型機と同等の改良体性能（改良径、改良壁の一体化）を確保し、全自動施工管理により、改良品質の安定化と、施工の省人化により生産性の向上を実現する、小型機械攪拌式地盤改良機「スマートコラム工法」を実用化した。

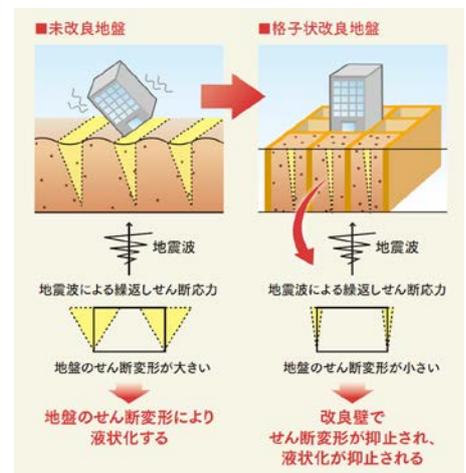


図1 TOFT 工法による液状化抑止

◆工法の特徴

スマートコラム工法の施工機は、単軸機と2軸機をラインアップし、施工対象地の条件によって使い分けることができる（図4）。そして、その施工機の占有面積は、従来の大型施工機に比べ30%以下の大きさを実現しており（図3）、TOFT 工法の設計上、必要な有効壁厚を確保するために、油圧モータの回転トルク特性を最適化することで、改良径φ1000mmを実現している。また改良壁の一体化に対しては、



図2 スマートコラム工法

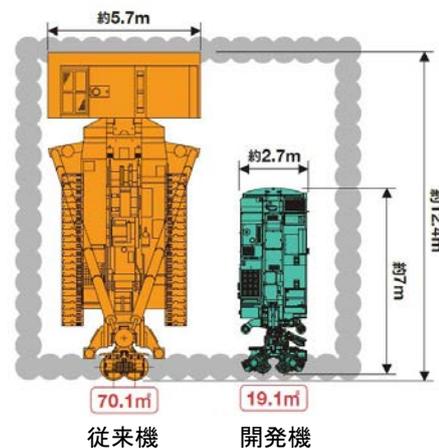


図3 従来機との大きさの比較

ラップ精度確保を目的に改良体の鉛直性を高める機能（単軸機：特殊スタビライザー、2軸機：多軸ロッドによる剛性補強）やジャイロセンサーによる掘削の軌跡管理システムを搭載している（図5）。これらにより1/200以上の鉛直精度を保つことができ、TOFTの設計要求性能を満足する高剛性な格子状地盤改良体の造が可能な工法となっている。

◆全自動施工管理による高品質・省人化施工

従来の小型改良機では、対象地盤の硬さの影響でオーガ回転数が変動するため、羽根切り回数確保はオペレーターの技量でカバーしていた。

そこで今回本工法（単軸機）において、新たに全自動施工管理システム（羽根切り回数、油圧、ロッド昇降速度、固化材流量を自動制御）を導入し（図-6, 7）、無線接続されたベースマシンとプラントを全自動制御することとした。九州での施工フィールド適用においては、手動に比べ変動係数が小さくなるなど、改良体品質の更なる安定化を実現するとともに、作業効率向上によるサイクルタイムの短縮化と、過剰品質を防ぐ経済性確保も確認できた（表-1）。また自動化により複数機の同時運転・管理が可能になり、作業員不足への対応やIoT遠隔監視による管理の省力化も実現できた。

今後我々は、スマートコラム工法により、耐震技術の更なる信頼性の向上および省力化による生産性の向上を具現化するとともに、本工法を足掛かりとして、将来の完全無人化施工の実現につなげたいと考えている。



図4 施工機のタイプと適用範囲

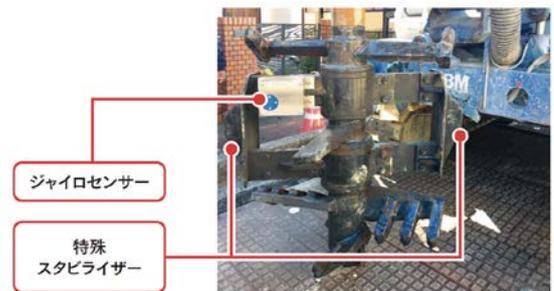
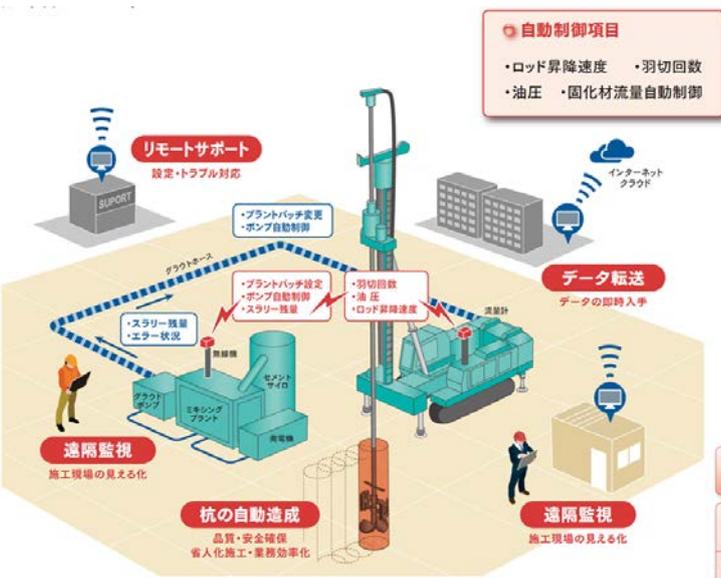


図5 鉛直精度を確保する特殊攪拌翼



*Y-LINK(YBM製)をベースに、独自の全自動施工管理システムを構築

図6 全自動施工管理システムの概要

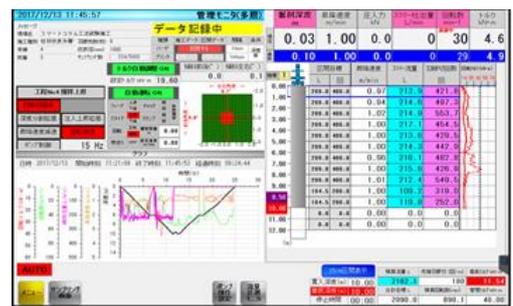


図7 全自動施工管理画面

表1 手動・自動制御の比較

項目	羽根切り回数 (回/m)	昇降速度 (m/分)	改良強度 (kN/m)	変動係数 (%)	サイクルタイム (分/本)
(目標値)	400	最大1.0	1,500	45以下	-
手動制御	平均400	0.5~1.0	2,409(平均)	37	30
自動制御	最低400	ほぼ1.0	2,264(平均)	33	25(17%短)

鉄道施工計画における3次元モデルの活用

小針駅バリアフリー化工事での導入事例

1. 施工計画の3次元化

鉄建建設では、BIM を活用し鉄道工事における生産性や安全性向上に取り組んでいる。その中でも駅部改良工事では、構造が重層化し複数の検討要因が発生するため、従来の2次元図面では全体を把握しづらかった。そこで施工手順を3次元化することで、状況を分かりやすく可視化する取り組みを行っている。

当工事は JR 越後線小針駅で、ホームと地平駅にエレベータを新設し専用こ線橋でつなぐ、線路上空クレーン桁架設を含む工事である。施工ヤードは狭隘で民家が近く、慎重な施工検討が必要とされた。

(1) 3次元モデルの作成

設計時に3次元モデル化を試行しており、新設構造物と周囲の既設鉄道施設に設計データを利用し、施工段階で必要なモデルを追加で作成した。なお追加したのは、仮囲いや足場等の仮設物や建設機械、周辺構造物である。作業員や一般的な建設機械は汎用部材を活用したが、鉄道工事に使用する軌陸車等の特殊機械は、カタログ等を参考に作成した。また、列車の安全な走行のため構造物等を設けてはいけない建築限界や、架線からの必要離隔範囲なども視覚化するためモデル化した。施工の検討を行う際は、支障物の有無や公衆動線の確保も重要な要素である。このため、周辺の地形データなどは国土院など汎用データを取得して組み合わせ、側道の幅やブロック塀の高さなどは現地の測量結果より作成した。

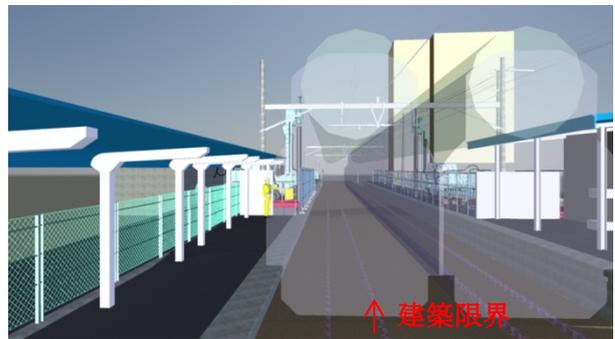


図1 建築限界表示による支障確認

(2) 施工ステップによる検討

工事の工程に合わせ、施工状況が変化するタイミングごとに状況を切り取った施工ステップを作成し、施工方法を検討した。モデル作成者と作業所の担当者が綿密な打合せを行うことで、施工ステップごとの作業員、仮設物モデル等の配置を、実際の施工にほぼ近い状況で再現できた。施工モデルを多視点から視覚的に確認するため、矢印や文字による説明を極力使用していない。このため、注目点の表示に工夫が必要であった。従来の計画図のように該当の作業位置や支障箇所の色を変える、球体で囲むなど従来に近い表現方法は可能である。



図2 施工ステップ

(3) 施工シミュレーションによる検討

列車が運行していない夜間作業で短時間に行う桁架設は時間軸を入れてシミュレーションするため、Autodesk 社のソフトウェア Navisworks の TimeLiner 機能により、架設当日のタイムスケジュールをアニメーションで再現した。モデル上で作業単位毎の作業員や機材の配置を詳細に検討することで、課題の抽出やクリティカルパスの検討に使用した。



図3 TimeLiner による施工シミュレーション

2. 取り組みの成果

(1) 共通理解を深化する資料として活用

社内や監督者で行う施工計画検討会では、全体を把握でクレーンの旋回範囲や吊り荷の位置を平面図と断面図でそれぞれ確認していたが、鉄道施設からの離隔距離の確認には、多くの断面図や説明資料を必要とした。3次元モデルでは、クレーンの旋回と周囲の施設との位置関係が、その場で要求される様々な角度も瞬時に確認できるようになり、干渉箇所の抽出が容易となった。また、モニターによって確認することが主体になり、ペーパーレス化も図ることができた。

視覚的に分かりやすく施工の状況がすぐに把握できる等、共通理解が得られやすいため、技能労働者への安全の周知や、鉄道関係者との協議、他社作業との競合調整資料としても活用が期待できる。

(2) 施工シミュレーション

施工シミュレーションでは、桁架設作業での、架線や電架柱などの鉄道施設との離隔や全体のタイムスケジュールの妥当性を再現し、作業ごとの詳細を全周から確認できた。特に桁設置時の支承位置や、桁固定時の足場から吊り天秤撤去時の吊り荷の吊り替えの動きなどの確認で有益だった。

また桁架設に使用する大型クレーンは3次元モデル上でブームの長さや角度の変化に合わせて自動で定格荷重を表示させ、吊り荷の動きによる安全率の推移を確認できた。これは鉄道工事に求められる安全のリスク管理にとっても効率的であった。



写真1 施工計画検討会実施状況

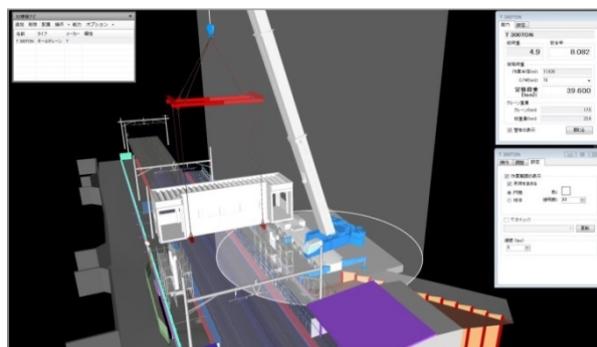


図4 大型クレーンの揚重シミュレーション

3. まとめ

施工計画の3次元化にあたり、クレーン桁架設以外にもエレベーターピットや橋脚基礎の施工も追加し、充実したモデルに仕上がった。既存駅部での改良工事において、施工計画の3次元化は施工検討に有効な手段であることが分かった。今後も既設構造物の調査や出来形確認の効率化など活用範囲を広げていきたい。

CIM 導入による生産性向上の取組み

CIM を使うと地中のアンカーが丸見え

1. 取組み概要

当工事は東日本大震災からの早期復興のリーディングプロジェクトとして『復興道路』に位置づけられた三陸沿岸道路のうち、岩手県大槌町中心部西側の山地を貫く延長 975m のトンネルを構築する工事である。トンネル貫通側となる起点側坑口に斜面对策として配置されるグラウンドアンカー定着部とトンネル掘削によるゆるみ領域の位置関係を把握するため、CIM にて 3 次元モデルを作成し、設計照査、施工計画および施工管理に利用して業務の効率化を図った。

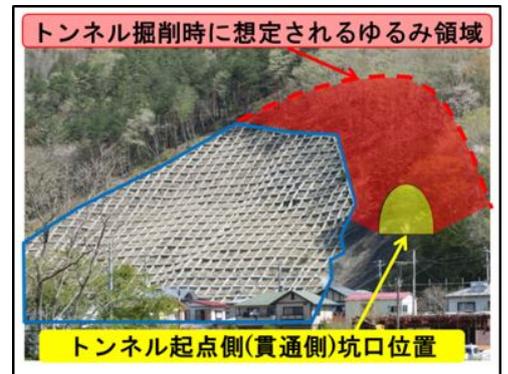
2. 施工現場の課題

トンネルの起点側坑口付近（貫通側）は、東日本大震災時の崩壊を含め、2 度の斜面崩壊が発生し、法面对策工事を行った位置に隣接して計画されていた。当現場においても、トンネル掘削による地山のゆるみから地すべりを誘発する懸念があったためグラウンドアンカーを施工する計画になっていた。

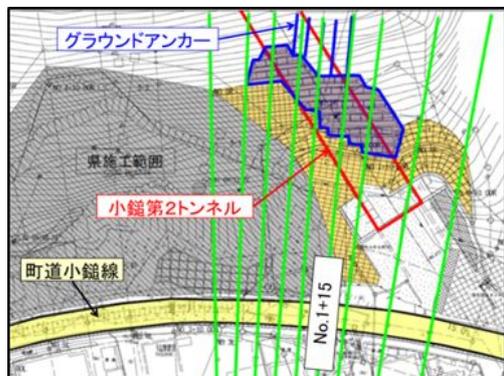
この地すべり対策として町道の法線直角に配置されたグラウンドアンカー定着部（地山内部）とトンネル掘削によるゆるみ領域の位置関係が平面図や断面図だけでは把握が困難であった。そこで、CIM を導入し、3 次元モデル化から立体的に可視化し、設計照査、施工方法の確定および施工管理を行った。



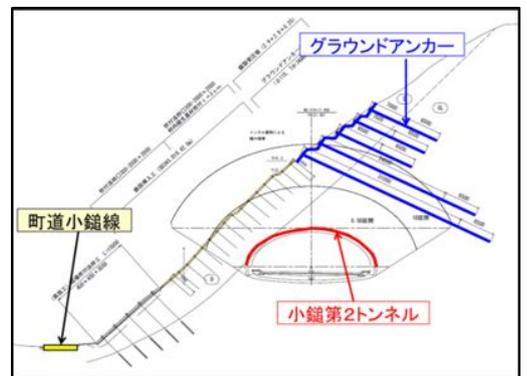
東日本大震災による斜面崩壊



法面对策工事とトンネル位置



設計図 法面工平面図



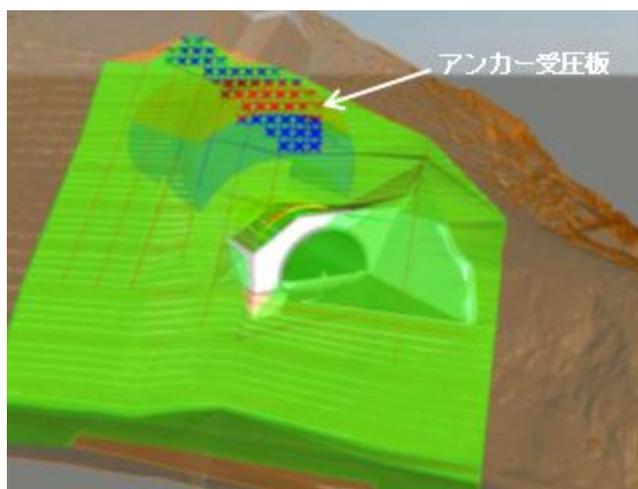
設計図 法面工横断面図 (No. 1+15)

3. CIM 導入の効果

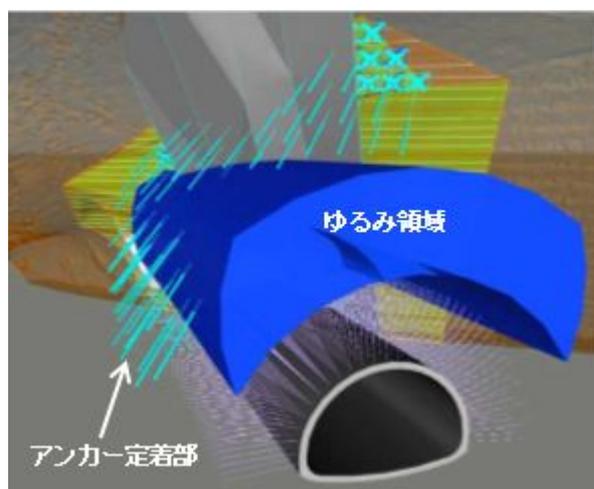
設計照査：地山内部が立体的に可視化できるため、横断測線（管理測線）でない部分の照査が可能になった。地山内部のグラウンドアンカー定着部の位置を照査し、ゆるみ領域内に配置されていたアンカー長さの延伸やゆるみ領域から大きく離れたアンカー長さの短縮が可能になった。

施工計画：設計構造物と現地盤の高さ関係が明確となり、工事用道路造成や仮設備配置スペースの検討に利用し、安全な施工方法の選定が可能になった。

施工管理：グラウンドアンカー工の施工過程で、打設位置、打設方向の施工管理に利用でき、施工性が向上した。



CIM モデル図（地表面）



CIM モデル図（地山内部）

4. まとめ

複雑な坑口部の地山形状を 3 次元モデル化し、そこに設計図書より抽出した構造物をプロットすることで、当初設計と現場との相違を管理することができ、建設生産システムの効率化、生産性の向上、コスト削減などの効果が得られた。



起点側坑口全景



起点側全景

棧橋建設工事における設計、施工段階での CIM の活用

港湾工事での CIM 活用による種々の先行的取組み

CIM 活用のねらい

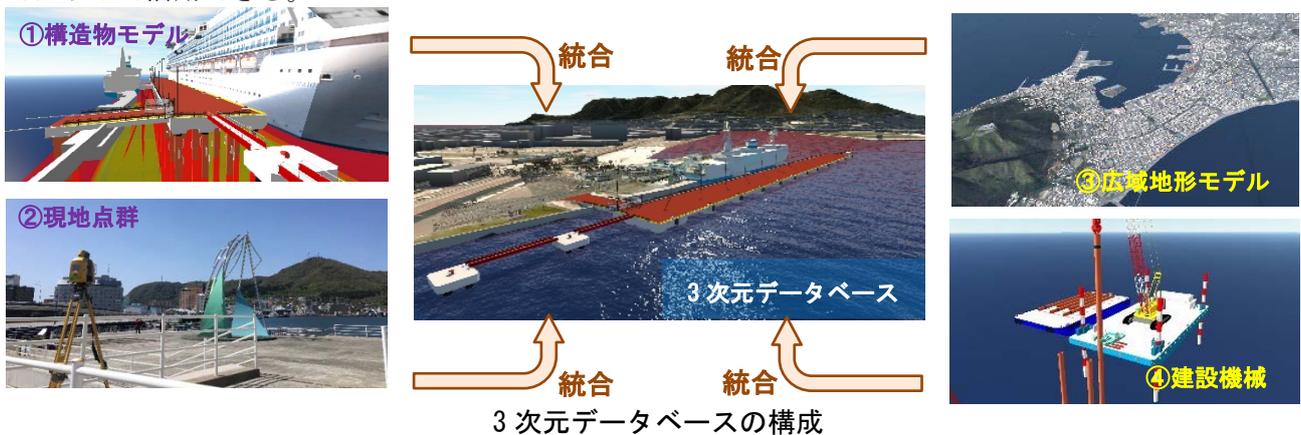
CIM 本来の目的は、調査、設計、施工、維持管理の各段階で共有された 3 次元データを用いることで効率化を図ることであり、その効果として生産性の向上も期待できる。今回紹介するのは、設計・施工一括方式（デザイン・ビルド）で発注された国土交通省北海道開発局の函館港若松地区岸壁改良工事において様々な段階における 3 次元データの活用を実践した効果や更なる活用方法である。

CIM では、調査や設計段階で作成・使用された 3 次元データベースを用いて施工するのが通常である。したがって、CIM の中核となるデータは、設計者から引き継ぐこととなるが、本案件はデザイン・ビルド方式であったため、当社が独自に CIM の方式に基づいて 3 次元データを作成した。



函館港若松地区岸壁の CIM による完成予想図

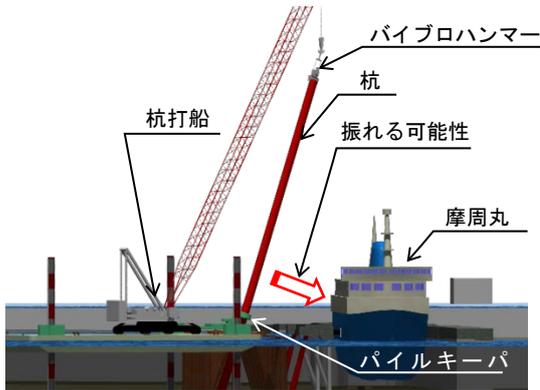
3 次元データベースの作成は、①構造物モデル②現地調査による 3 次元点群計測③広域地形モデル④施工機械データの 4 つのデータを統合することによって行った。統合されたデータベースは、設計段階で施工上の諸問題を見出して反映させたり、施工段階の施工計画書立案や水中潜水作業の見える化に役立てたりして活用できる。



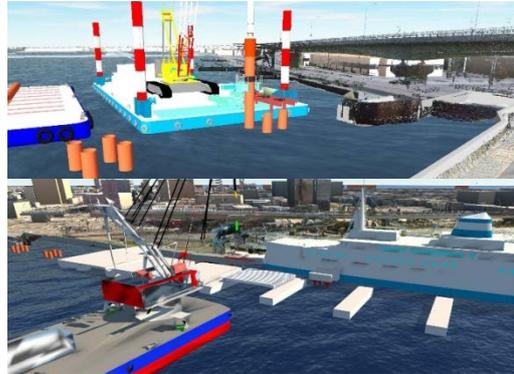
設計段階での活用

3 次元データの優位性を生かし、2 次元での確認方法では見落としがちな問題点を抽出して対策を講じた。設計段階で問題点を解決することで、施工段階における現場での対応が減少し生産性が向上した。これまでは問題が発生するたびに現場が休止することがあったが、これらが無くなり稼働率が向上した

ためである。具体的な事例として以下の図に示すように、斜杭打設時の周辺施設（摩周丸）との干渉を立体的に把握するなど、施工ステップの各段階で発生しうる問題点をあらかじめ設計に反映した。



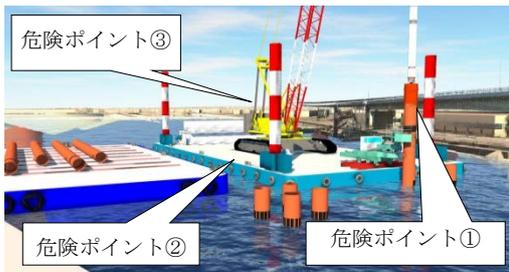
立体的に干渉を把握して設計に反映



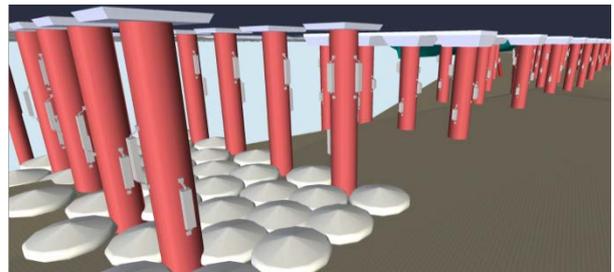
施工ステップ図の作成

施工段階での活用

3次元データは、これから建設するものを視覚的に確認できるため、事前の作業内容説明やその作業における危険のポイントを関係者全員で勘違いなく共有できる。さらには、潜水作業においても見えない水中をあらかじめ視認して把握できるため、安全性と効率が向上する。以下の図はその事例である。



作業手順の見える化



潜水(水中)作業の見える化

今後の活用

今回報告した「見える化」をさらに進化させ、VRシミュレーターを開発することで、実際の現場を模擬体験できる。この模擬体験により、実作業前に危険ポイントを発見して対策を講じたり、関係者の教育訓練を効果的に行えたりする効果が見込める。

さらに、建設現場における正確な形状把握と機械制御ソフトとの組み合わせにより海上作業の自動化が進むと予想される。自動化の開発では、今回作成したような3次元データを中心に進めることで、自動化と施工履歴の記録が同時に行えるなど、より効率よい施工が可能となる。



施工状況 VR シミュレーター

まとめ

3次元データの活用は、現時点で考えられる効果以外にも今後ますます適用事例が増え、「見える化」や「自動化」、「安全性向上」といったキーワードで開発が進むと考えられる。海上工事においてもそういった取り組みはなされているところであるが、海上あるいは水中といった特殊条件下においてはさらにその効果への期待は大きく、生産性向上にも大幅に寄与できる。

ICT 活用した造成工事における生産性向上の取組み

ICT を使い測量から土工・舗装・出来形管理を省人、効率化

1. 工事概要

本工事は、久留米・うきは工業用地造成工事の1期工事であり、造成、水路・調整池工事および道路工事を行うものである。当該工事では工事面積 13.1ha に対し盛土約 21 万 m³、道路延長 640m を施工する。近年、様々な ICT を用いた施工（品質管理・出来形管理等）による作業や管理の効率化の取組みがされているが、当現場では起工測量から土工、舗装工および出来形管理、電子納品に至るまでの一連の作業・管理について ICT を採用し効率化を図る取組みを行った。

2. UAV 空中写真測量の採用

場内の地盤高を計測する方法として、従来は光波測距儀とレベルを用いた横断計測が行われているが、当現場では 13.1ha と対象範囲が広域となるため計測に労力を相当要する。そこで UAV（無人航空機；通称ドローン）に搭載したカメラによる空中写真測量により起工測量および中間出来形測量を行い、作業の効率化を図った。

その結果、計測自体は半日で作業が済み、計測から計算結果の整理までにかかる作業人工が約 30%削減され、測量作業時間の短縮・省力化に効果が確認された。また、精度については国交省の出来形管理要領の規定値を満足する値が得られた。



使用 UAV とプロポ(リモコン)



取得点群データ(オルソ画像)

3. MC(マシンコントロール), MG(マシンガイダンス)の導入

造成作業の省人・省力化を目的に、盛土工の敷均し作業にブルドーザマシンコントロール(MC)を、調整池等の法面整形作業ではバックホウマシンガイダンス(MG)を導入した。また舗装工では路盤仕上げ作業にマシンコントロール機能付きグレーダーを導入した。

ブルドーザ・バックホウ MC/MG 用の基準局は GPS1 台を現場事務所の屋根へ設置し、RTK(リアルタイムキネマティック)方式とした。グレーダーMC は自動追尾式 TS による計測方法とした。MC は排土板位置をリアルタイムで把握するとともに設計高さに自動制御して施工する。MG はリアルタイムでバケット刃先位置を運転席のモニターで確認して、設計面に対する位置関係を把握しながら作業するものである。



MC ブルドーザ

MC/MG の導入の結果、丁張り設置作業が不要となり、特に MC ブルドーザにおいては 1 作業日当りの人工が約 60%削減される効果を確認した。MG バックホウとグレーダーMC においても施工時間の短縮・手元作業員の省人化につながった。



MG バックホウ



MC グレーダー



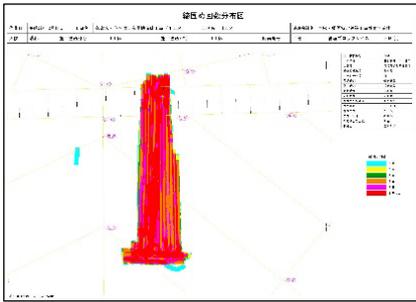
基準局 GPS

4. 振動ローラ GNSS 転圧管理システムの導入

盛土の転圧施工には、基準局を VRS (仮想基準点) 方式とした GNSS 振動ローラ転圧管理システムを導入した。本システムは、運転席のモニターにて転圧回数が色分け表示され転圧回数・走行軌跡を管理するものであり、リアルタイムでかつ面的な管理を確実に行うことができ、施工品質の向上につながる。また従来の現場密度管理から施工規定方式の管理となり、施工管理要員の業務時間の削減となる。本システムを導入することで施工管理要員の品質管理業務に要する時間が従来管理と比べ約 80%削減できることを確認した。



GNSS 搭載振動ローラ



転圧回数分布図

5. クラウドによる情報共有システム「ビジョンリンク」の運用

本工事では複数の ICT 建機を使用した施工とするため、各 ICT 建機の稼働や施工状況を同時に管理する管理面での効率化を目的として、クラウド情報共有システム「VISION-LINK (ビジョンリンク)」を運用した。

ICT 施工データの取り込みが日々クラウド上で自動更新され、当日および指定期間の ICT 建機の走行軌跡などが確認できる。クラウド上にあるので、現場以外の本支社・協力業者等からも閲覧することが可能となっており、情報共有化とともに状況確認のためのやりとり作業が削減できる。



ビジョンリンクシステム概要図



管理画面の例(進捗図)

クラウドを活用しすべての現場を効率的に管理

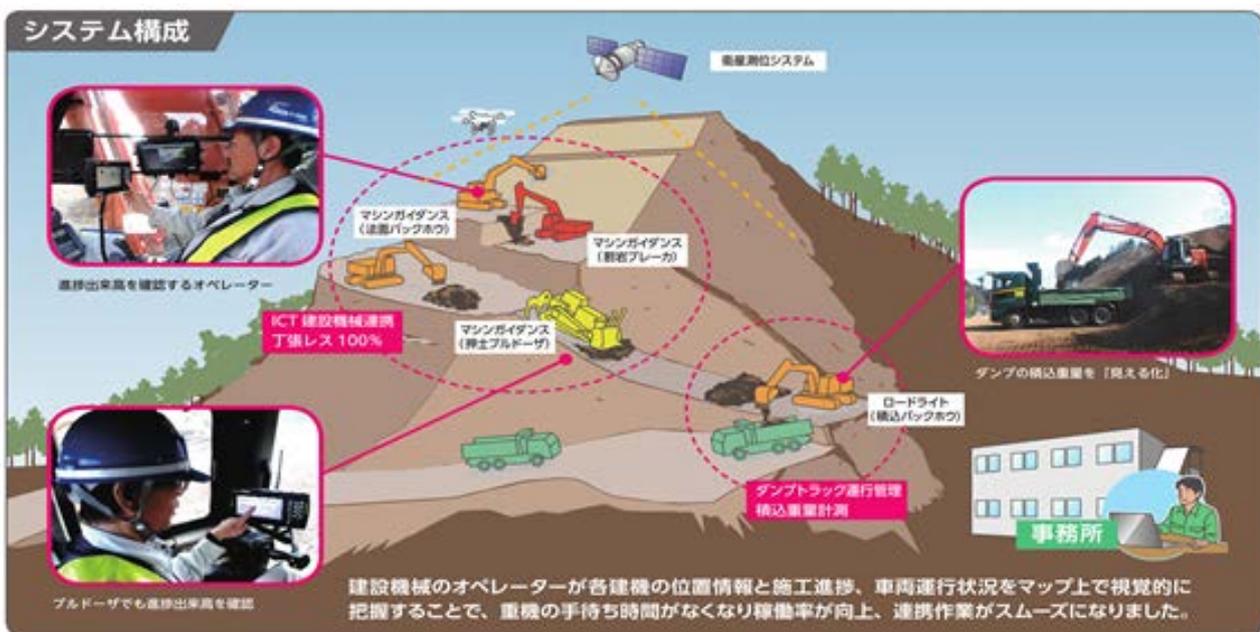
IoT 全工程の見える化

1. 開発の背景

近年、土工現場における ICT（情報通信技術）の全面活用には、ドローンによる三次元測量や設計データが入力された ICT 建設機械の導入などがあり、作業の効率化や省人化が進みつつある。実際に測量作業では現場から丁張が無くなり、ICT 建機では仕上げ工程の高精度化や熟練オペレーター不足の解消などの成果が表れ始めている。しかし、ICT 建機は法面整形や盛土転圧など仕上げ作業の一部分にのみ採用されるケースが多く、工程の部分的な効率化が進んでも工事全体の生産性向上に寄与できないといった課題があった。

2. システム概要

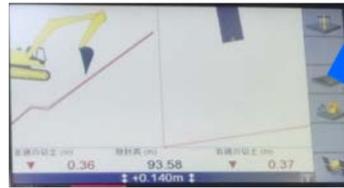
土工現場の建設機械（ICT 建機、ダンプトラック）・人（工事管理者、職長、オペレーター）・測量（三次元データ、ロードライト）のすべての施工情報をクラウドサービスにつなげ、施工の進捗や出来形の情報が、工事管理者だけでなく職長やオペレーター、運転手などすべての現場の担当者へ、リアルタイムで共有できるシステムを構築した。



重機土工「全工程」見える化イメージ

3. システムの特長と効果

各オペレーターが相互の位置情報と施工進捗およびダンプトラックの運行状況をマップ上で視覚的に把握できるため、連携作業がスムーズになり、建設機械の手待ち時間が大幅に短縮され稼働率が向上するという効果が確認できた。この結果、現場全体の建設機械とダンプトラックの計画的かつ効率的な配置が可能となった。作業計画の日々改善と適正化が進み、さらに、オペレーターから作業進捗や天候などの条件に応じた建設機械の配置変更が提案されるようになり、とくに切盛土の施工効率が上がり、その他の効果として、各プロセス関係者による自主的なクラウド活用が活発になり、重機始業前点検の結果がウェブ看板を通して「見える化」され、安全管理のツールとしても利用が進んだ。



マシンガイダンスシステム画面

オペレーター画面確認状況

マシンガイダンスシステム画面と運転手画面確認状況



現場事務所での業務を「見える化」

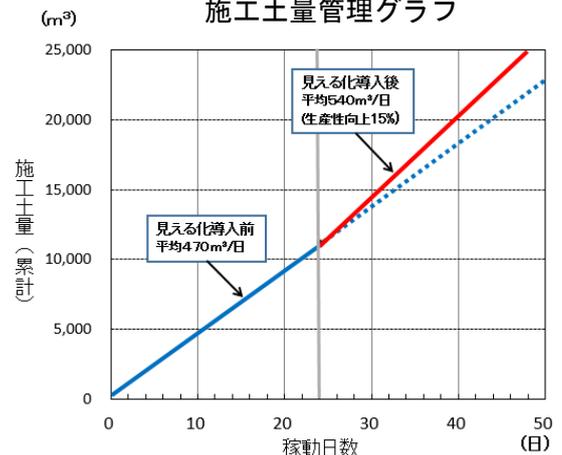
「全工程見える化」適用技術

適用技術	技術名称	内容と成果
見える化クラウドサービス	ICT建機 ビジョンリンク※4/TCC	各建設機械に3Dマシンガイダンスを搭載し、位置、軌跡、出来形、土量データをリアルタイムに情報共有。
	ロードライト	積込みパレット内に荷重計の搭載でダンプトラックの重量を管理し、過積載防止。
	車両運行管理システム	ダンプトラックの位置情報を建設機械オペレーターが監視することで無駄を排除し、ずり積込み作業を効率化。
	監視ウェブカメラ	各オペレーターがずり積込み作業の進捗をカメラで監視し、連携作業を効率化。
情報共有リモートアクセス	チームビュー 重機位置情報	建設機械の位置を即時表示しオペレーター同士が確認し合うことで、配置変更や追加といった作業計画の変更を適正化。
	Web看板 重機始業前点検	オペレーターが毎日行う重機始業前点検の結果を、運転席のパソコンで入力し、即時事務所へ報告。
	安全指示伝達	安全指示や天気情報などを現場内へ一斉配信し、安全管理体制の向上。

4. まとめ

岐阜県の「平成27年度東海環状広見地区西道路建設工事」において、IoTを活用して土工現場の建設機械・人・測量の情報すべてを集約し、「全工程見える化」により施工量では、従来比約15%の生産性向上を達成した。

施工土量管理グラフ



ドローンによる測量で切盛土工事の日々の出来高管理に適用

GNSS 機能を活かしたドローン測量による測量解析時間を 1/3 に短縮

1. 開発の背景

近年、機体の高性能化・低価格化によりドローン測量が急速に普及し、国土交通省が進める「i-Construction」で規定された工事着工前の起工測量や、竣工時の出来形測量に多く活用され成果が現れている。しかし、いくつかの課題があり、施工途中の日々の測量で手軽に活用できるまでには至っていない。

従来のドローン測量では、事前準備として評定点を設置し、トータルステーションを用いた測量作業、写真撮影後の点群データ解析処理に膨大な費用と時間が必要である。また、せっかく設置して測量した評定点も、工事の進捗に合わせて設置・撤去を繰り返さなければならない。近年では、高額な高性能 PC や専用ソフトウェアを不要とし、インターネットブラウザ上で一括 3D モデルを作成するサービスなども提供されているが、解析処理に半日程度かかることや、出来形データの外注時の責任の所在、また山間部などでは作業所の通信環境に影響されるといった問題がある。

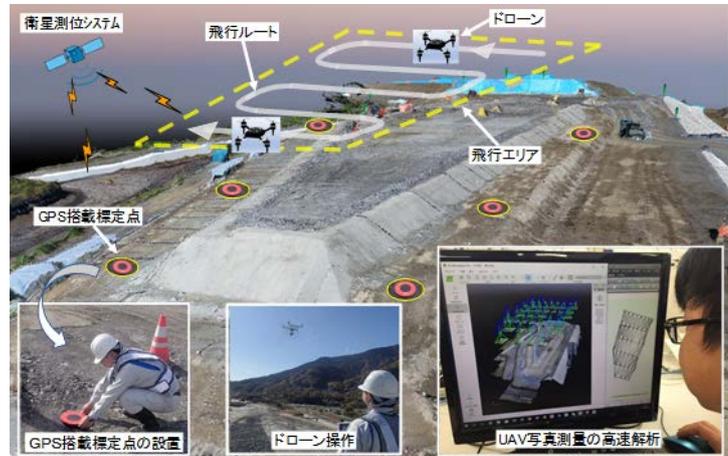
2. システム概要

GNSS 機能を活かしたドローン測量(以降デイリードローン)は土量計算など日常の出来高管理において、現場で気軽かつ迅速に利用することに主眼をおいている。日々の土工事作業終了後にドローンを飛行させ、撮影写真データの点群処理から土量算出までを当日中に完了させる測量技術として開発した。本システムは、評定点設置作業の省力化と点群データ解析作業の時間短縮を図る簡易測量でありながら、出来形精度

±50mm の確保と算出土量の誤差±5%以内を達成している。また、高精度の測量が必要な際には、写真撮影時の設定条件を変更することで、従来と同様に「i-Construction」での要求精度を確保することも可能である。

3. 導入効果

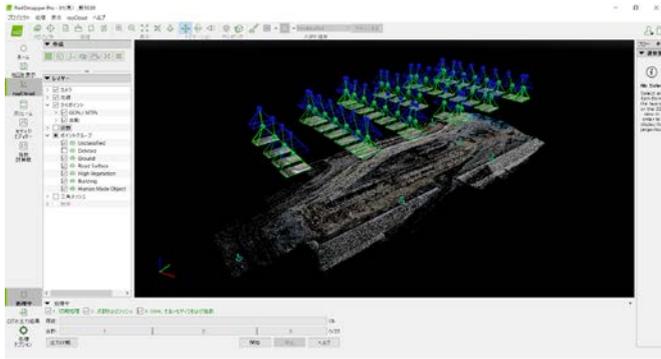
- ・出来高管理の地上測量が不要で、現場の測量工数とデータ処理工数を大幅削減



デイリードローン システム図



機体「Phantom 4Advanced」



点群処理「Pix4D MAPPER」



GNSS 搭載標定点

- ・これまで以上に安価かつ高速に日常的なドローン測量が可能
- ・ドローン測量は重機稼働中でも実施でき、測量担当職員の負担を軽減
- ・従来のドローン測量と比べ、基準測量から点群データ解析までの所要時間を大幅に短縮

適用機器と解析手順

	手順	適用機器	従来 測量解析	デイトードローン 測量解析
事前	評定点計測	エアロボマーカー	4 時間	1 時間
測量	UAV 飛行	ドローン写真撮影	(0.5 時間)	(0.5 時間)
解析	① 標識紐付け	座標変換ソフト	5 時間	2 時間
	② 点群処理	空撮データ加工ソフト		
	③ 点群編集	点群編集ソフト		
	④ 3D 処理	3 次元 CAD ソフト		
	時間合計		9 時間	3 時間 (従来 1/3)

※測定面積 2ha (20,000 m²) で検証

4. まとめ

基準測量から点群データ解析までの一連作業に要する時間を当社従来比 1/3 に短縮し、作業所の職員が土量算出の必要性を感じた時に、手軽に算出できる技術である。基準測量に GNSS 搭載評定点を利用することで、煩雑な評定点の「設置」～「測量」～「座標データの入力」といった一連の手間を省略することが可能となり、さらにドローンによる写真撮影時には、現場の土量管理に必要な精度確保の条件（写真枚数、画素数、点群密度など）を設定することで、データサイズを抑制し、処理時間の大幅短縮を実現している。

ICT 活用による生産性向上の取り組み

ICT を使ってトンネル工事の安全性と生産性を向上

1. 工事概要

当工事は福島復興再生道路に位置付けられた県道吉間田滝根線に延長 1,403m のトンネルを構築する工事である。トンネル施工ヤードにアクセスする現道は、幅員狭小・急勾配・急カーブが連続する山間地域にあるため、トンネル掘削の施工管理に加え、資機材の搬出入や残土運搬時の安全管理など、施工ヤードや周辺道路の安全管理にも人員を要する工事である。当現場では生産性向上への取り組みの一環として、ICT を用いて各種施工管理要員の削減を図った。

2. 坑内管理要員の削減

○IC タグ工事車両周囲エリア管理システム、インテリジェントカメラによる人検知システムの導入

坑内の安全管理のため、IC タグと受信・警報装置が常時通信し、重機に近づいてきた人を警報機で知らせるシステムを導入した。本工事では、坑内の車両系建設機械に配備し、重機 5m 圏内に近づくと警告灯が回転する仕組みで運用している。さらに、インテリジェントカメラによる人検知システムによって、人と重機との接触の危険がある場合のみ、モニターに警告を表示し、同時に警告灯が作動し警告音が鳴るシステムを導入した。これらによって、重機誘導員を削減することができた。

○WEB カメラ活用による現場管理スケジュール

坑内ではトンネル掘削作業状況によって、切羽観察等の管理確認作業を行えるタイミング・時間が限られるため、職員は現場で待機する必要がある。そこで、切羽付近に WEB カメラを設置して作業状況を監視することにより、現場管理・確認す



工事車両周囲エリア管理システム



インテリジェントカメラによる人検知システム

べき時間帯を詰所にて確認できるようにした。これにより、現場詰所で内業しながら施工状況を把握して、リアルタイムに現場管理のスケジュール管理が可能となり、現場調整・待機時間の削減を図ることができた。

以上の結果、坑内管理要員の業務時間を平均30分/サイクル/人低減することができた。



WEBカメラ活用による現場管理スケジュール

3. 坑外管理要員の削減

○赤外線センサーシステムとLED電光掲示板

線形不良・狭小・急カーブが連続する現道横に赤外線センサーシステムを道路BOX入り口双方に配備した。これは道路BOX入口センサー前を車が通過する瞬間、道路BOX出口側LED掲示板が作動し、道路BOX出口から入口側走行時も同様に作動する警告システムである。

このシステムを導入したことで、18か月で720人の交通誘導員を減らすことができた。



赤外線センサーシステムとLED電光掲示板

現場立会、確認検査の効率化

現場立合い検査・確認を遠隔確認することで業務の効率化を図る仕組みを計画している。これはインターネットライブカメラを活用し、ハンズフリーマイクと軽量モバイルカメラを組合せた通信環境を構築し、発注者事務所からのリアルタイム指令に基づき立会検査が可能となるシステムである。これにより、例えば岩判定の際の発注者の移動時間(1時間)や切羽待機時間(30分~1時間)が削減されたり、検査待ちのためにその日の掘削作業が1サイクル減るようなことがなくなるなどの効果が期待される。



ネットワークカメラによる現場立会、確認検査

BIM/CIM 活用による生産性向上の取組み

4D モデルを用いた仮設構造検討の省力化

1. 工事概要と背景

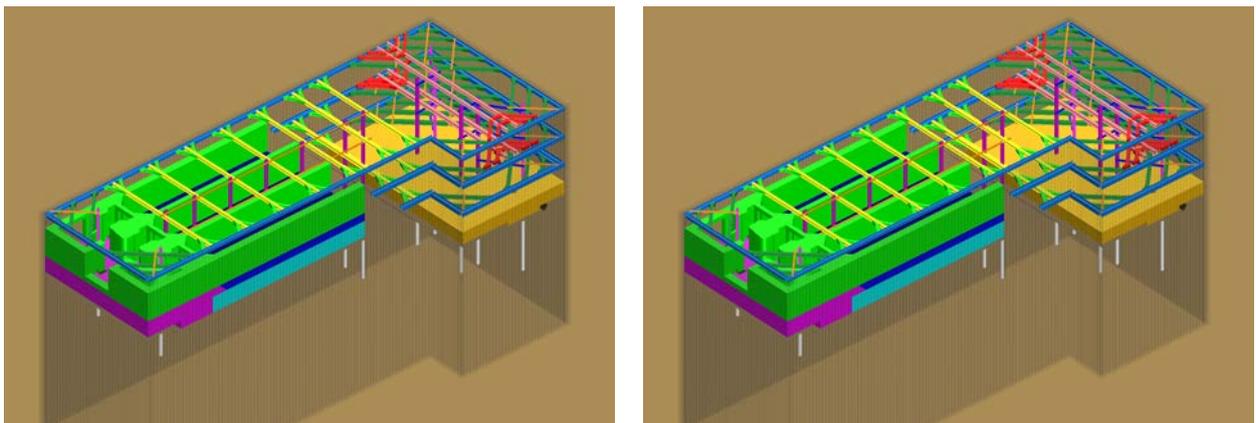
今回の対象工事は、雨水排除を目的としている。その工事規模は、計画雨水量 $7.7\text{m}^3/\text{s}$ に対応する RC 造の地下 1 階(最大深さ約 12m)、地上 4 階(高さ約 20m) 建の沈砂池ポンプ棟と貯水量 $11,200\text{m}^3$ の雨水調整池及びそれに付随する総延長約 400m の函渠である。

ポンプ場の上流側では大規模な造成が行われており、その開業日も決定していた。そのため、本工事では開業に合わせて雨水を処理できるようにポンプ場設備を建設する必要があり、工程厳守が至上命題となっていた。後工程である建築工事及び機械設備工事、電気設備工事については工期の短縮が困難であるため、複雑な構造の土木構造物を短期間で竣工させることが工事全体の工程短縮の要であった。



2. 4D モデルの活用

地下構造物である土木躯体の工程短縮を図る上で重要となるのが、山留支保工の架設計画である。そこで、躯体の進捗に合わせた山留支保工の経時変化を表現した 4D モデルを作成し、躯体構築のリフト割を検討した。



同日 (2016/12/4) の工事進捗を表現した 4D モデル (左：元設計 右：変更設計)

4D モデルの導入により、元設計の架設計画では約 2 ヶ月の工程ロスが発生することが明確になった。元設計では 3 段目の山留支保工はポンプ井側にも設置し、沈砂池の底版に控えをとる構造であったため、沈砂池の底版コンクリートの強度発現を確認した後に 3 段目の山留支保工を設置する必要がある。

このため、沈砂池の底版を構築し、山留支保工を設置し終わるまでの約 4 週間はポンプ井側の掘削ができないため工程上のロスが発生する。また、沈砂池、ポンプ井を縦断する方向の通し梁があることで、撤去時は沈砂池とポンプ井を同時に解体しなければならないため、躯体構築の途中で一時的に山留支保工の撤去待ちとなる時間が生じ、ここでも約 4 週間の工程ロスが生じることがわかった。

3. 支保工の簡素化と業務の効率化

元設計データを用いて作成した 4D モデルの導入により、工程ロスが発生しており、その原因が沈砂池とポンプ井を縦断する通し梁にあることが明確になったので、沈砂池とポンプ井の山留支保工を通し梁不要の大火打ち構造に変更した。その結果、沈砂池側とポンプ井側で切り離して山留支保工を施工できるようになり、掘削や躯体の構築において待ち時間が減少した。また、沈砂池の躯体と絡ませずに 3 段目の山留支保工を架設できるので、沈砂池の構築を待たずにポンプ井側の掘削を実施できるようになった。

架設計画変更後の施工手順についても、4D モデルによるシミュレーションを行い、各作業の順序と必要日数を確認した。図-1 は元設計（左図）と山留め構造の変更を反映した変更設計（右図）について、同日の 4D モデルにて比較した図である。構造物のモデルは、コンクリートの打設リフトごとに色分けされている。元設計では、沈砂池のコンクリート打設が 2 リフト目（打設量全体の約 20%）までしか完了していない状態であるのに対し、実施設計では、沈砂池側で 4 リフト、ポンプ井側で 1 リフト分（打設量全体の約 40%）のコンクリート打設が完了可能となることが確認できた。

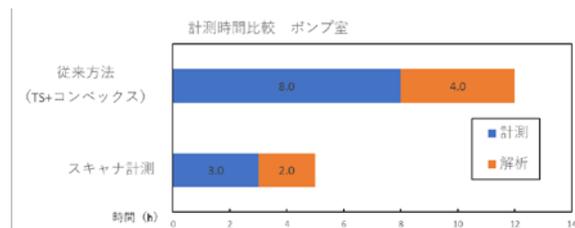
作成した 4D モデルを活用することで、複雑な構造物の形状、工程が理解しやすくなったため、協力業者との施工検討会や機電施工者との職種間調整も円滑に実施することができた。また、躯体構造が複雑な場合、打設ボリュームを手計算で算出するのは時間を要することであるが、4D モデルを活用することで正確に素早く算出することが可能になり、残コンや計算時間の削減につながった。

4. おわりに

4D モデルにより工程を可視化することで、より合理的な仮設構造への変更が実現し、地下躯体の全体工程を実質 2 か月短縮することができた。さらに、施工手順の可視化により、工事関係者間のコミュニケーション向上にも一定の効果を得られた。また、当現場では 3D スキャナによる出来形計測も試行した。その結果、課題は残ったものの、複雑な躯体の出来形寸法をある程度の精度で、短時間で取得できることが分かったため、将来的には現状の出来形計測にとって代わる可能性もあると思われる。



	ポンプ室（従来方法との差異）	原動機室（従来方法との差異）
従来方法計測値	4,060mm	4,065mm
スキャナ計測値	4,063mm (+3.0mm)	4,069mm (+4.0mm)



3D スキャナによる出来形計測

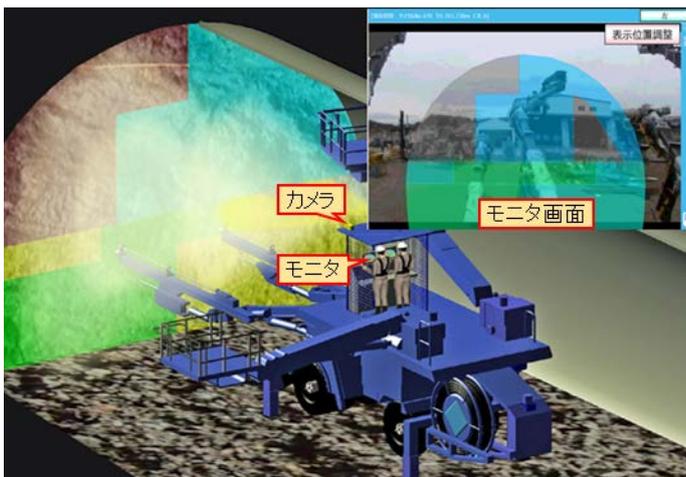
トンネル分野における生産性向上の取組み

ICT を駆使したシステムの導入による作業効率の向上

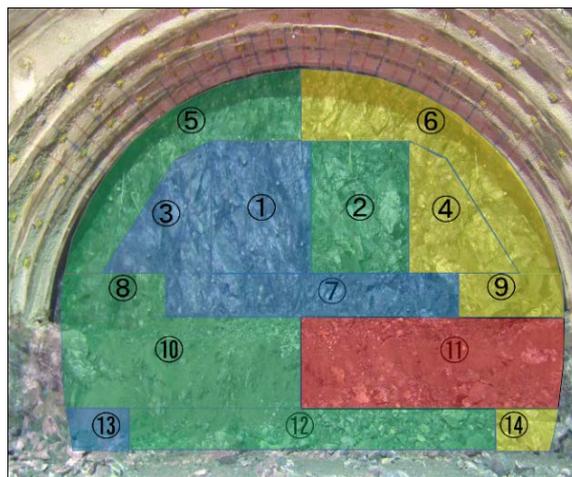
(1) SMC-Tunneling シリーズ「きれい ni 発破」

山岳トンネル工事の発破掘削で行う削孔・装薬作業は、数サイクル前の切羽で使用した火薬量と発破結果に基づいて行われていることが多く、複雑な地山の変化に対応できず過装薬により余掘りが大きくなる傾向がある。

この課題を解決するために開発した本システムは、ドリルジャンボで削孔時に得られる削孔速度や回転圧などのデータ（削孔検層データ）を活用し、切羽毎に岩盤状況（硬軟）を把握することにより、使用する火薬の適正量を自動で算定してリアルタイムにモニタ表示するシステムであり、余掘りの低減と施工サイクルの短縮により、削孔・装薬作業の効率化を図ることができる。



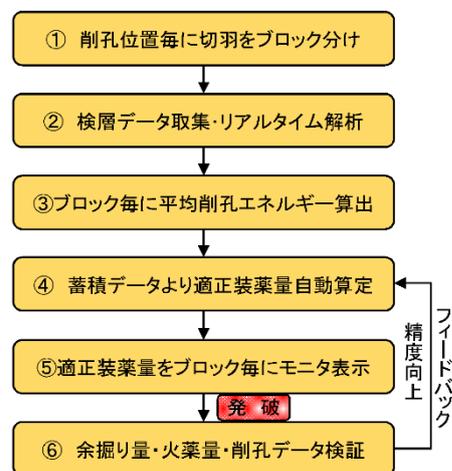
きれい ni 発破概要図



モニタ画面

・システムの詳細

- ①発破パターンに基づき切羽を削孔位置毎にブロック分けし、ドリルジャンボに搭載した削孔誘導カメラの画像と合成する。
- ②装薬孔削孔時の削孔検層データを1分毎に自動で収集する。
- ③削孔完了後、各ブロック毎の平均削孔エネルギーを算出する。
- ④蓄積した削孔エネルギーデータと既施工区間で使用した火薬量および余掘り量から適正装薬量をリアルタイムに自動算定する。
- ⑤ブロック毎に色分けした適正装薬量をドリルジャンボのモニタやタブレットに表示し、対応した火薬量を装薬して発破する。
- ⑥発破後に3Dスキャナを用いた断面計測により余掘り量を計測する。余掘り量、使用した火薬量および削孔エネルギーのデータを検証し、適正装薬量の自動算定精度を向上させる。



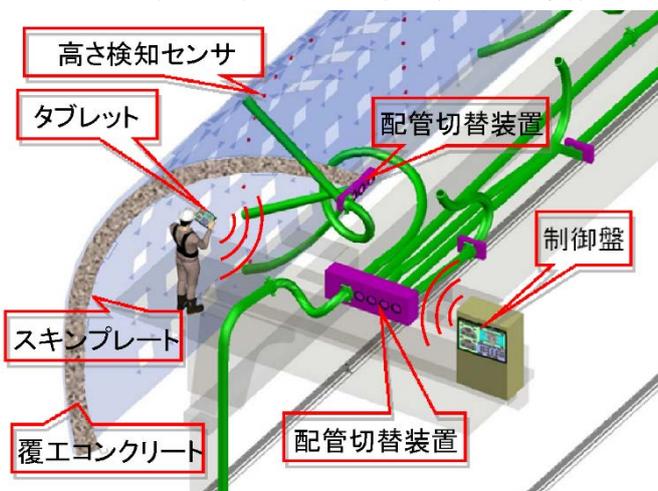
システムフロー

(2) SMC-Tunneling シリーズ「自動 de 覆工」

従来の覆工コンクリートの施工では、コンクリート打設高さの確認は、打設窓から目視により行い、配管の切り替えは人力により行っているのが現状である。

そこで、覆工コンクリートの施工に ICT を駆使した打設システムを導入することで、自動化による作業の省人化、管理の簡素化を図るとともに、経験不足の技術者・技能者でも施工可能なシステムを構築することを目的として本システムの開発を行った。

本システムは、セントルのスキンプレートに設置したセンサにより打設高さを検知し、あらかじめシミュレーションした最適な打込み位置に自動で配管を切り替えることができる覆工コンクリート打設システムであり、覆工コンクリートの打設状況（打設高さ、圧送速度）をリアルタイムにタブレットで確認できるため、一元管理による省力化と高品質化が可能となる。



自動 de 覆工概要図



タブレット画面

・システムの詳細

①高さ検知センサ

高さ 50cm 間隔でセントルのスキンプレート表面に設置したセンサにより、リアルタイムにコンクリートの打設高さを検知し、打設状況をタブレット端末およびモニターに表示する。

②自動配管切替

高さ検知センサから送信された打設高さや打設位置情報が、制御盤を経由して配管切替装置に伝達され、自動で所定の配管へ切り替わる。

③タブレットによるシステム管理

コンクリート打設位置毎の情報（打設高さ、圧送速度）をリアルタイムにタブレットに表示し、圧送位置の変更や異常時の圧送停止等の指示をタブレット上で行うことが可能。



自動配管切替装置

今後の展開

SMC-Tunneling シリーズ「きれい ni 発破」は東北地方整備局発注の気仙沼 1 号トンネルに、「自動 de 覆工」は福島県発注の(仮称)田代トンネルに導入予定であり、積極的な現場適用を図り、実績を積み重ねるとともに開発を継続することで、更なる生産性向上を行っていく方針である。

コンクリート構造物の施工における生産性向上への取り組み

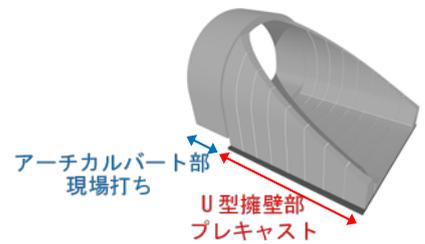
～コンクリート工事の担い手不足の解消へ向けて～

当社が生産性向上に向けて取り組んでいる種々の施策のうち、コンクリート構造物の施工に関する事例を紹介する。

1. 大型プレキャストの採用事例①（竹割坑門工への適用）

高速道路トンネル工事において、トンネル掘削後の工程短縮が課題となったが、昨今技能労働者の不足しているインバート工および覆工では大幅な工程短縮は望めなかった。発注者と協議を重ねた結果、竹割坑門工のうちU型擁壁部のプレキャスト化を提案し、設計変更が認められた。

現場打ち坑門工のU型擁壁部で想定していた累計690人の作業人員が、本工法の採用で380人となり310人少ない人員（45%減）で施工することができた。さらに、工程を3ヵ月短縮し、安全面についても良好であったことを考慮すると、メリットは非常に大きかったと言える。過去に例の無い構造物でも、一度はプレキャスト化の可能性を検討することが、建設現場の生産性向上を図る上で重要であると考えられる。

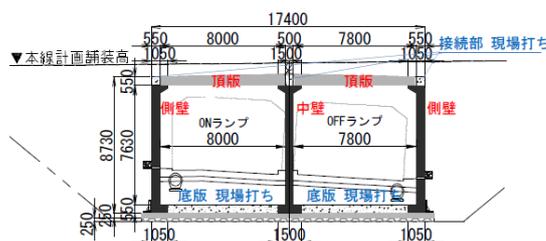


2. 大型プレキャストの採用事例②（2連ボックスカルバートへの適用）

高速道路ICの施工において、本線とランプが交差する箇所に、延長約50mの2連ボックスカルバートが計画されていた。着手後、地中障害物の存在や地盤条件の異なりによる基礎地盤の再調査・再設計のため工事を6ヶ月間中止することとなった。開通に間に合わせるため、現場打ちからハーフプレキャスト（FAボックス、NETIS QS-110006-A）へと設計変更し、工程を4ヶ月短縮した。

当初計画の現場打ち施工では累計3000人を見込んでいたが、本工法の採用で800人となり、技能労働者及び管理職員を含めて2200人少ない人員（73%減）で施工を行うことができた。採用した工法においては、大断面の2連形状かつ曲率半径150mの施工実績をつくることができた。また、同工法は部材が単純な形状でセグメント化

されており、接続部の構造も簡素であるため、様々な形状の大断面ボックスカルバートに適用出来ると思われる。

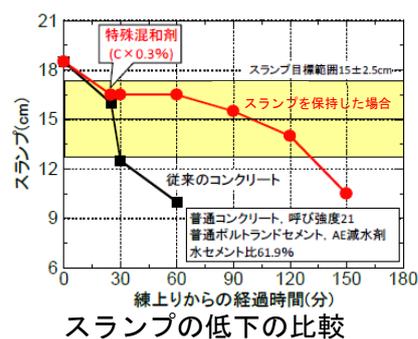


3. 流動性を高めたコンクリートの採用①（スランプの保持）

高速道路 JCT 工事において、仮設のコンクリート舗装にスランプ保持工法を採用した。当該工法は、荷卸し時に特殊混和剤（JIS 規格適合品）を所定量添加することでコンクリートの流動性を保持し、荷卸しから打込みに要する時間を大幅に延長できる工法である。また、JIS 規格品のレディーミクストコンクリートにそのまま適用することができ、ブリーディングの増大や凝結、強度発現の遅延は生じず、硬化後の品質に無影響であることが証明されている。

当該現場は山間部のため交通アクセスが不便であること、舗装コンクリートのような広範囲の打設は時間がかかることから、ワーカビリティの低下が課題であった。同種工事の場合、通常は1班（4人程度）増やすことで打込み速度を上げる等の対策が考えられるが、同工法によりスランプが約3時間保持でき、増員の必要が無くなったため、打設1回当たり4人の縮減ができた。

今回の適用事例は仮設構造物であったが、上述の通りコンクリートの品質への影響が無いことから、生コンプラントから遠い現場での本設のコンクリートにおいても有効であると考えられる。



4. 流動性を高めたコンクリートの採用②（高流動コンクリート）

道路トンネル工事の覆工コンクリートに高流動コンクリートを使用し、施工の省力化を行なった。使用した高流動コンクリートは特殊増粘剤と市販の高性能 AE 減水剤を用いることで、従来の普通コンクリートに比べセメント量を増加することなく、高い流動性と自己充填性を実現している。そのため、従来の高流動コンクリートの 1/4 程度の追加コストで製造でき、型枠の大幅な補強も不要である。

補強鉄筋区間においてもバイブレータによる締固めを行なわなくても高い充填性を有し、均質な覆工コンクリートの構築が可能であった。また、覆工コンクリート1スパン分（10.5m）の流動性を有することから、セントル内のコンクリート吐出口の配管切替作業が減り作業効率も向上した。その結果、打設1回当たり2人少ない作業人員で打設作業を行うことができた。

今後、同種工事における高流動コンクリートの使用を標準とするべく、他の現場への普及を促進して行く。また、技能労働者不足に対する生産性向上施策として、自己充填性の高い同コンクリートのトンネル以外の工種への展開も図っていく。



流動先端（側部）



脱型後全景



仕上がり状況

山岳トンネルの掘削ずり運搬の高速化

高速ずり搬出システムにより、掘削工期を 15%短縮

開発の背景

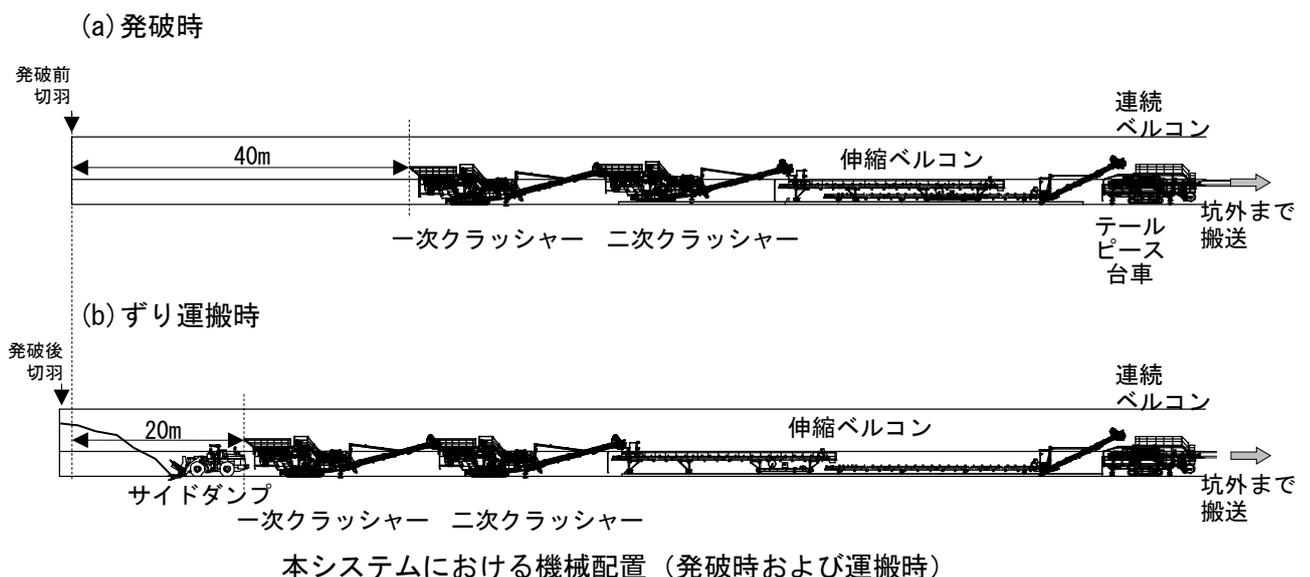
発破工法によりトンネルを掘削する場合、一連の施工サイクルの中で多くの時間を費やしている作業の一つに、ずりを処理する作業があり、長大トンネル工事におけるずりの搬出処理には、坑内の環境面および安全面に配慮して連続ベルトコンベヤー（以下、連続ベルコン）を採用するケースが増加している。連続ベルコンはトンネル掘削の進捗にしたがって延伸させる必要があり、この延伸作業を一発破ごとではなく、ある程度まとまった距離を掘削した後に行うため、切羽からクラッシャーまでのずり運搬に時間を要していた。また、ずりの破砕処理に要する時間もクラッシャーの破砕能力に依存しており、ずりの処理時間を短縮するには、切羽からクラッシャーへのずり運搬の効率向上と、それに相応したクラッシャーの破砕能力の強化が課題となっていた。

システムの特長

開発した高速ずり搬出システムは、切羽側から、直列に配置した 2 台のクラッシャー、移動式伸縮ベルトコンベヤー（以下、伸縮ベルコン）および連続ベルコンの順で構成されており、以下の特長を持つ。

① 伸縮ベルコン採用による切羽からクラッシャーへのずり運搬の効率向上

発破時に伸縮ベルコンを縮め、クラッシャーを切羽から約 40m の地点まで退避させることで、飛石による損傷を防止する。発破終了後、クラッシャーをずり発生箇所近傍（切羽から約 20m）に移動させると同時に伸縮ベルコンを 20m 延伸して、クラッシャーから連続ベルコンにずりが搬送できるようにする。



通常の施工では発破後の切羽とクラッシャーの距離は平均 60m 程度であるが、伸縮ベルコンを使用することで、この距離を 20m 程度まで近づけることが可能となる。また、一般的な方法で連続ベルコンを 20m 延伸するには 3 時間程度必要であったが、伸縮ベルコンを用いることで 5 分以内に短縮できる。

② 直列配置した 2 台のクラッシャーを用いた二段階破碎と単独破碎との併用による破碎能力の強化

サイドダンプ等を用いてずりを切羽側に配置したクラッシャー（以下、一次クラッシャー）に投入すると、一次クラッシャーで大割りされたずりが、そのまま坑口側に配置したクラッシャー（以下、二次クラッシャー）に投入され、ベルコン搬送に適したサイズに小割りされる。この二段階破碎により、1 台のクラッシャーのみで小割りする従来方式と比べ、クラッシャーの破碎能力を向上させることができる。

また、一次クラッシャーを経由して二次クラッシャーに投入されたずりの中には、小径で破碎不要なものが相当量含まれるため、二次クラッシャーの破碎能力には余裕が生じる。この余力を利用して、一定の頻度で直接二次クラッシャーにずりを投入する単独破碎を併行して行うことにより、さらに効率よく破碎することができる。



本システムにおける機械設備の構成

実証試験の概要と結果

茨城県桜川市の採石場において、掘削断面 70m² のトンネルを想定した実大規模の実証試験を行った。

発破時の退避位置からのクラッシャー 2 台の移動と伸縮ベルコン延伸の後、クラッシャーへのずり運搬、破碎、伸縮ベルコンによるずり搬送という一連の工程を実施した。結果、従来のクラッシャー 1 台で伸縮ベルコンを使用しない場合と比べ、ずりの処理能力（連続ベルコンへの時間あたりのずり供給量）が 60% 以上向上することが確認できた。これにより、発破やずり出し、



実証試験の状況

コンクリート吹きつけを含む掘削工程において、月進 250m が可能となり、工期を 15% 削減できる。

今後、実工事への適用を進め、さらなる生産性向上に寄与していく。

伸縮可能な鉄筋かごを用いた「ストランド場所打ち杭工法」を初適用

低空頭条件下での場所打ち杭工事における生産性向上

1. 開発の背景

近年、都市再生計画に伴う鉄道構造物の複々線化や連続立体化、駅改良といった工事において、低空頭や狭あいな場所における場所打ち杭の施工が増加している。通常このような場所では、杭長分の鉄筋かごの運搬や建込みが不可能であるため、短く分割した鉄筋かごを機械式継手などで接続しながら施工する必要があるが、接続作業にコストと時間がかかり、生産性を阻害する要因の一つとなっている。

課題の解決を図るため、2005年に、低空頭条件下での場所打ち杭工事の効率化を目的として、現場伸展方式の鉄筋かごを用いた「ストランド場所打ち杭工法※」を開発した。

ところが、当時の開発段階では、折り畳みの際によじれが生じるなどの技術的な課題が残っており、実用化までには至らなかった。

2014年から、鹿島ではこの課題を解決すべく本工法の改良を行うとともに、東日本旅客鉄道株式会社のご指導・ご協力のもとに実工事に初めて適用を行い、大幅な生産性向上を実現することができた。

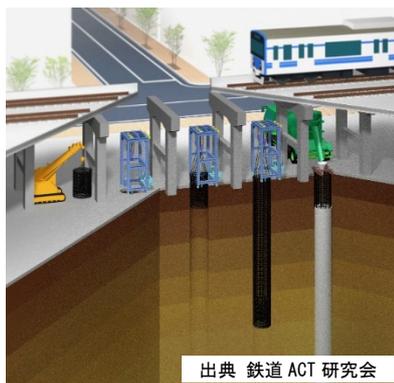


図1 「ストランド場所打ち杭工法」のイメージ

2. ストランド場所打ち杭工法の概要

(1) 工法概要

本工法は、伸縮可能な鉄筋かごを用いることによって、現場での鉄筋接続作業を不要とするものである。

あらかじめ工場で組み立てられた鉄筋かごを、縮小した状態で杭孔まで搬入し、建込み装置にセットする。

次に、結束を解除して吊り具を緩めることにより、鉄筋かごの自重により孔内に伸展し、建込みが完了となる。このため、建込み時間の大幅な短縮が可能となる。

また、鉄筋かごの縮小時の長さは、伸展時に比べ約1/4~1/6程度であり、ストランドは鉄筋に比べて軽量であるため、総重量は通常の1/2~2/3程度となり、鉄筋かごの運搬及び建込み作業の労力を大きく軽減することができる。

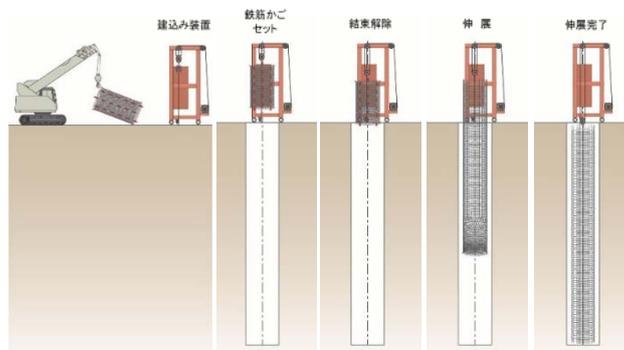


図2 本工法の施工ステップ
(出典：鉄道 ACT 研究会)

(2) 改良内容

本工法を改良するにあたり、縦軸方向のストランドと帯鉄筋との結合部に、90°回転可能な特殊な結合部回転金具を新たに開発した。

本結合部回転金具の採用により、縮小している際は帯鉄筋に沿ってらせん状に巻かれているストランドが、伸展する際に絡まることなく、スムーズに帯鉄筋と直行するようにまっすぐに伸びるようになり、大きな効果があることが判明した。

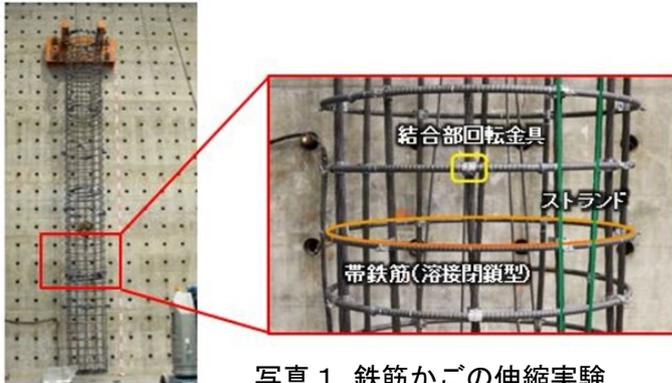


写真1 鉄筋かごの伸縮実験



写真2 結合部回転金具

3. 実工事への初適用

2018年3月、改良した本工法を、JR渋谷駅改良（北）工事に初めて適用した。渋谷駅地下構内の空頭3.5mの狭い場所で、杭径1.2m、杭長7.9mの工事桁を施工する工事である。従来の接続工法では1本あたり5日間程度かかると想定された鉄筋かご建込み作業を、わずか5時間で完了させることができ、大幅な施工性の向上を実現することができた。

また、鉄筋かごは縮小時長さ1.25mと、伸展時必要長さの約1/6にまで縮小した状態で搬入され、台車に乗せて駅構内を容易に運搬することができ、運搬性の面でも大いに寄与した。



写真3 駅構内での運搬状況



写真4 ウィンチ操作により短時間で伸展



写真5 杭孔内で伸展を完了

4. 今後の展開

鹿島では本工法を今後も積極的に適用し、施工のさらなる効率化や適用対象の拡大に向けた検討を進めるとともに、様々な場所打ち杭工事の生産性向上に向けた技術開発を続けていく。

なお、今回の工事への初適用にあたっては、東日本旅客鉄道株式会社のご指導・ご協力のもと施工を実施した。改めて感謝の意を表す。

※本工法は、鉄道ACT研究会のPR工法に登録されている。

爆薬の遠隔装填システム

山岳トンネル工事の装薬作業の安全性の向上と効率化を実現

1. 開発の経緯

山岳トンネル工事の発破掘削における爆薬の装填作業は、肌落ちや崩落の発生の可能性が高い切羽に密着しての長時間の人力作業であり、作業環境や姿勢からかなり苦渋性の高い作業である。

安全性の向上のため、装薬作業を出来るだけ切羽から離れて行うこと、作業姿勢の改善、装薬の機械化及び全自動化を目的に、『爆薬の遠隔装填システム』を開発し、現在まで 22 のトンネル現場での採用実績がある。

2. システム概要

爆薬の遠隔装填システムは、台車に搭載した遠隔装填装置および装填ホース・装填パイプ・手元リモコンスイッチからなっている。また、爆薬の遠隔装填装置は、爆薬供給・アンコ供給・装填機の各装置とこれらを制御するコンピュータで構成されている。



写真1 爆薬の遠隔装填システム

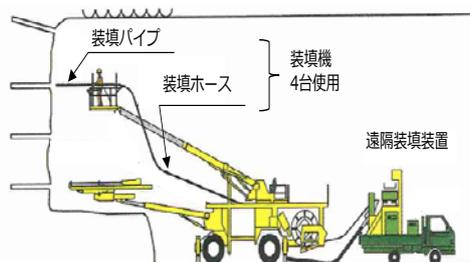
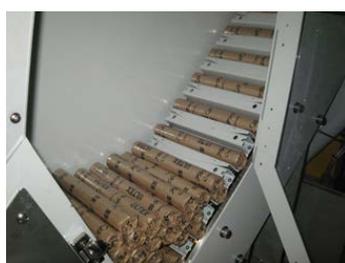


図1 爆薬の遠隔装填システム全体図



爆薬供給ホッパー



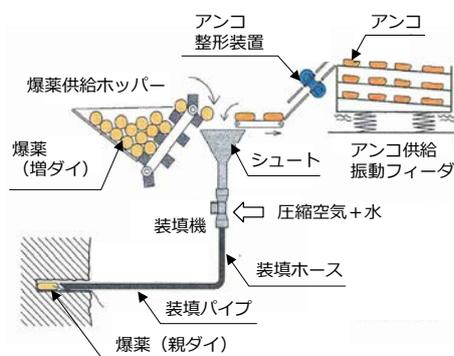
手元リモコンスイッチ



アンコ供給振動フィーダ



装填機



敵方の四方ロールによる整形
アンコ整形装置

図2 爆薬の遠隔装填装置の構成図

3. 施工手順

装薬手順は、まず親ダイを装填パイプの先端に取り付け、発破孔の孔尻へエア圧送する。次に、増ダイを手元の操作ボタンで数量設定し、増しダイ発射指令ボタンを押すと、後方の遠隔装填装置より、連続的に設定数の増ダイが孔内に圧送・装填される。すべての増ダイの装填完了後、次にアンコ装填指令ボタンを押すと、所定数の連続整形されたアンコが同じ装填装置を通して圧送される。

4. 安全性の向上

従来的人力による装薬作業（写真2）では、作業員は切羽に長時間密着した状況で、爆薬とアンコを挿入し、込め棒で突くという作業となる。

一方、爆薬の遠隔装填システムによる装薬作業（写真3）は、切羽から1.5m程度離れたところから、比較的楽な姿勢で装薬作業を行える。



写真2 人力による装填作業
(従来の装薬方法)

5. 発破効率の向上

従来、爆薬・アンコの装填は、数本を同時に孔内に挿入後、込め棒で押しつけて装填させる場合が多く、込め棒に当たった爆薬のみが押しつぶされるため、均一な装填がされにくい。しかし、爆薬遠隔装填システムによる爆薬及びアンコの装填は、一定のスピードで孔内に送り込まれ、個々に押しつぶされるため、密充填状態となる。

模擬火薬と模擬孔を使用した装填実験（図3）では、人力に比べ同一材料で装填長が30~40%程度短くなり、孔奥に集中した密装填となっていることがわかる。この結果、爆力が強大かつ安定するため、破砕威力が大きくなり、薬量の低減につながるものと考えられる。



写真3 遠隔装填による爆薬装填

6. 装薬作業の効率化

爆薬の遠隔装填システムを使用した機械装填と人力装填の1孔当りの装薬作業時間の比較を図4に示す。

この結果より、1孔当りの薬量にかかわらず、遠隔装填システムを用いた機械装填では、装薬時間は概ね15秒/孔で完了していることがわかる。

また、人力装填と比較すると、機械装填では1孔当りの平均薬量が多いにもかかわらず、1孔当りの平均装薬時間は人力装填26.5秒/孔に対し、機械装填14.7秒/孔と12秒ほど早く、約45%の装薬時間の短縮となる結果となった。

これは、人力装填では爆薬及びアンコを挿入し込め棒で突いて装填する作業の繰り返しに対し、遠隔装填システムでは、手元のリモコンボタンの操作のみで爆薬とアンコが迅速かつ簡単に装填できるためと考える。



図3 模擬の爆薬での遠隔装填システムによる密装填状況

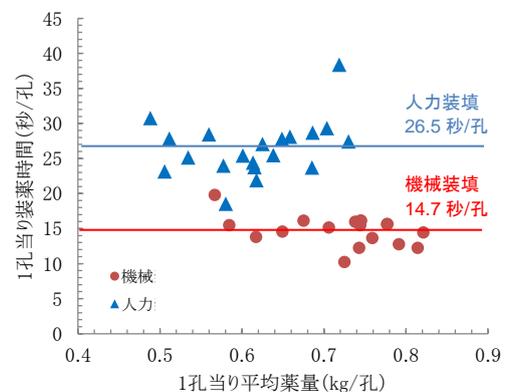


図4 機械装填と人力装填の装薬時間の分布

創意工夫による生産性向上の取組み

インバートコンクリートの人力打設による作業効率と経済性の向上

1. 工事概要

当工事は、九州新幹線（西九州）、武雄温泉・長崎間の建設にあたり武雄温泉起点 57km779m～61km720m（延長 3,941m）間のトンネル（延長 3,885m）、路盤工（延長 9m）、橋りょう工（延長 47m）、等の工事である。長大トンネルの施工となるため、トンネル掘削の施工管理に加え、トンネル内のズリ出し及び残土運搬時の安全管理が大変重要となる。また、周辺環境への配慮も必須となる工事である。当現場では生産性向上への取組みとして、インバートコンクリートの打設方法を改良して人力打設とすることにより作業効率と経済性の向上を図った。

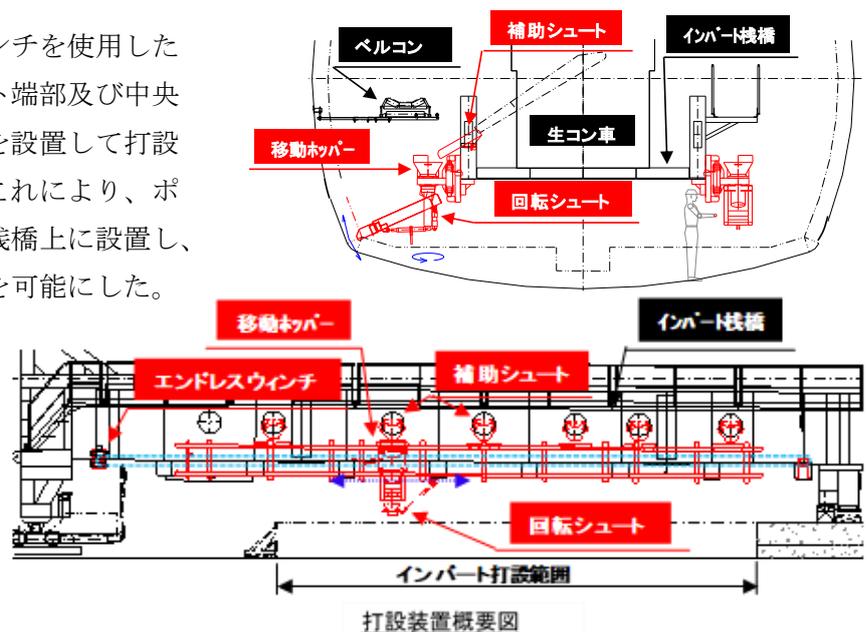
2. 解決すべき課題

連続ベルコンを使用する新幹線トンネル工事では、左右移動式インバート栈橋が使用できないため、スロープ跳上げ式栈橋を使用する。左右移動式栈橋ではシュートによるコンクリート人力打設が可能であるが、スロープ跳上げ式栈橋では、インバート端部及び中央通路部への運搬距離が長いため、人力打設だけでは困難となる。このため、ポンプ車を使用して打設を行うこととした。

しかしこれにより、打設時のポンプ車設置時は他の車輛が通行できなくなり、トンネル掘削に必要な資機材の運搬できなくなるため掘削の進捗に支障をきたし、またポンプ車のコスト負担も課題となった。

3. 改善策

インバート栈橋側面に電動ウィンチを使用した移動ホッパーを取付け、インバート端部及び中央通路部への打設には回転シュートを設置して打設面に直接運搬できるようにした。これにより、ポンプ車を使用しないで生コン車を栈橋上に設置し、直接シュートで人力打設することを可能にした。



4. 改善効果（作業効率及び経済性の向上）

①トンネル掘削に影響を与えないインバートコンクリート打設方法へ改善

改善前は、インバート打設時の約6時間掘削に使用する吹付コンクリートの生コン車等が通行できなかつたため、掘削サイクルに支障をきたしていたが、打設設備の改良及び人力打設を行うことによりトンネル掘削への影響を大幅に改善できた。

（インバートコンクリート打設1回あたり約4.8時間程度の短縮効果があった。）

②コンクリートポンプ車を未使用とすることにより、大幅に経済性が向上した。

また、トンネル坑内環境の改善にも寄与した。



改善前（ポンプ車による打設）



改善後（回転シュートを使用した打設）



改善後（棧橋上から直接投入）

システム型枠工法と高強度せん断補強筋による生産性向上への取組み

型枠と鉄筋の新技术採用により躯体品質と施工時の生産性及び安全性が向上

1. 工事概要

本工事は、北陸新幹線区間における高架橋を新設する工事であり、工期を遵守して軌道引渡しに間に合わせるため、工期短縮に寄与する省力化技術を採用したものである。採用した技術は以下のとおりである。

1) システム型枠 (Top50 柱型枠)

当該技術は、型枠にセパレータを使用せず、型枠外面に取り付けた専用フレームにて型枠を拘束するものである。セパレータを使用しないため、型枠組立解体時の省力化を図ることができるとともに、型枠を大組した状態で解体～組立に移行できることから、次施工への転用も効率的に実施することができる。

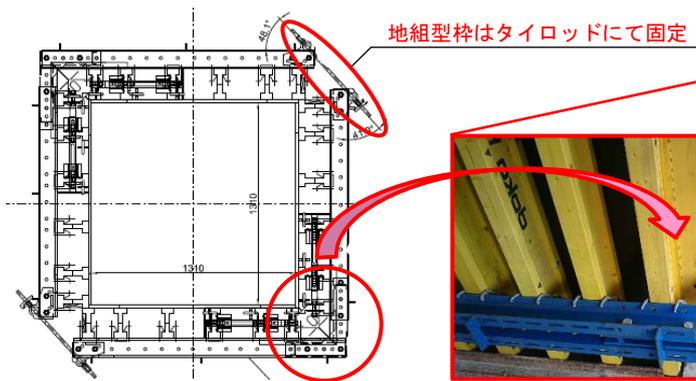


システム型枠地組 (2面分地組完了)



システム型枠建込2面分完了

システム型枠大組吊込み状況



システム型枠平面図



システム型枠隅角部組立状況詳細

2) 高強度せん断補強筋（ウルボン 1275）

当該工事の高架橋柱の帯鉄筋には、細径異形 PC 鋼棒をスパイラル形状に工場加工した、高強度せん断補強筋（ウルボン 1275）を採用した。

通常、柱の帯鉄筋は、1 本ごとに縦筋に差し込むため大きな手間を要するが、本工事では、鉄筋径が細く（φ10mm）スパイラル形状を採用したため、複数本同時に差し込むことが可能となり、鉄筋組立における施工性が向上するとともに、かぶり部におけるコンクリートの充填性の向上にも寄与した。



高強度せん断補強筋（ウルボン 1275）



高強度せん断補強筋（ウルボン 1275）組立状況

2. 生産性向上を目的とした工期短縮等に対する取組

本工法を採用した結果、型枠組立に要する作業日数を低減でき、以下の効果が得られた。

1) 躯体工事の工程短縮（型枠組立解体）

【従来工法】1 基（H=8m）⇒ 組立：約 2.0 日 解体：1.5 日

【本工法】1 基（H=8m）⇒ 組立：約 1.5 日 解体：1.0 日

上記より、柱 1 本の型枠組立解体作業につき、「1.0 日」の工期短縮が可能

2) 施工時の安全性向上および躯体の品質向上

高架橋柱部の施工では、クレーンによる型枠組立解体時に多くの労力と工期を要し、かつ足場上での高所作業による災害リスクが大きくなることが懸念されるが、本技術を採用することにより、型枠工施工時の省力化や工期短縮だけでなく、型枠組立解体時の高所作業が低減できることで、施工時の安全性の向上にも寄与することができた。

また、コンクリートの締固め作業性が向上することによる施工性の向上だけでなく、セパレータ不要による出来栄の向上、劣化因子の浸入要因となる P コン穴埋め部がなくなることなどにより、高品質なコンクリート構造物を構築することができた。

3. 今後の課題

当該システム型枠は、高架橋等の構造物全般に適用可能であるが、システム型枠の地組ヤードの確保が必要となるため、作業ヤードが狭隘な場合は別途施工ヤードを確保する必要がある。また、今回採用したシステム型枠の損料は従来工法に比べて費用が大きくなるため、今後の普及を促すためには、型枠組立の数量および橋脚基数（システム型枠の転用の可否）等による費用対効果の検討とともに工期短縮や品質確保、総労働者数など生産性向上指標を用いて総合的に判断する仕組み作りが必要である。

プレキャスト構造の採用による生産性向上の取組み

ハーフプレキャスト構造の採用による現場作業の省人化

1. 工事概要

東京外かく環状道路（以下、「東京外環自動車道」）は、都心から半径約 15km のエリアを結ぶ延長約 85km の幹線道路であり、今回の事業区間は三郷南ICから高谷JCTに至る延長約 15.5km の区間であった。本工事では、千葉県市川市の住宅密集地において、総延長 1,598m の本線と 5 か所のランプを開削工法とシールド工法にて施工した。このうち、京葉道路と接続するランプ区間（開削工法）の一部にハーフプレキャスト構造（以下、HPCa）を採用した。

2. HPCa の構造概要

HPCa 構造は、側壁の厚さ方向の両側に配置されるプレキャストコンクリート板（HPCa 部材）と、その間に充填されるコンクリート（充填コンクリート）からなり、中実の PCa 部材に比べ、部材重量の軽減・大型化を可能とした。HPCa 部材には側壁の主筋・配力筋相当の鉄筋を埋め込み、せん断補強鉄筋については同等の耐力を有する鋼板（せん断補強鋼板）に置換えた。さらに、充填コンクリートと一体化させるためのずれ止め（孔あき鋼板ジベル：PBL）を配置した。

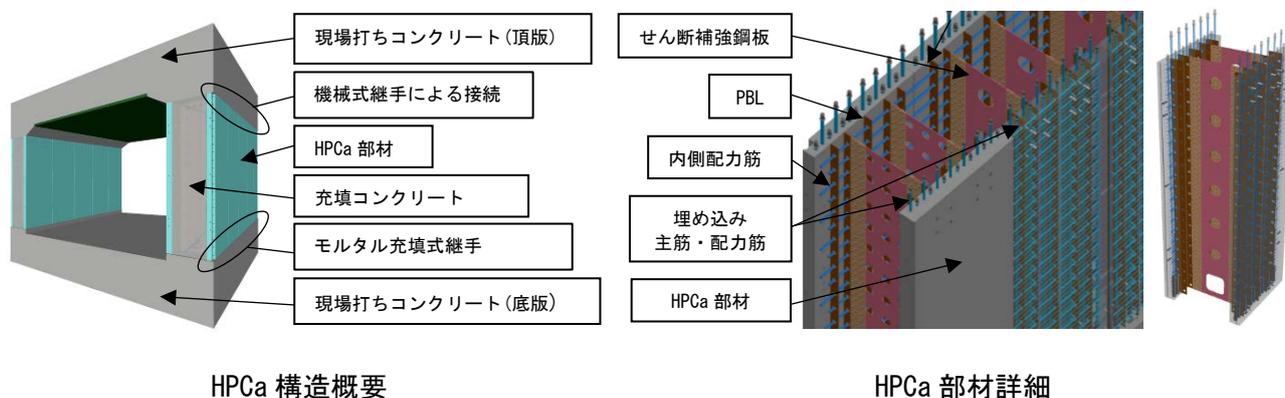


図 1 HPCa 構造概要

3. 施工方法

○底版部の施工

底版については現場打ちコンクリートにより施工した。HPCa 部材は底版からの差し筋に差し込む構造であるため、差し筋の施工精度を±10mm 以内に収める必要があった。そこで鉄筋組立時に L 型鋼を用いた鉄筋定規にて鉄筋の精度を確保するとともに、工場製作したテンプレート（専用治具）で HPCa 部材の収まりを確認した（写真 1）。

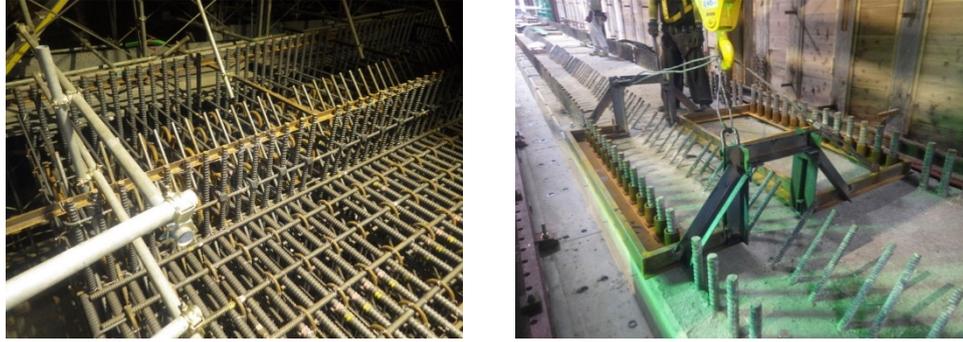


写真1 底版配筋および底版鉄筋確認状況（テンプレート使用）

○側壁部の施工

HPCa 部材（重量：約 19t）は他の作業や土留支保工の制約を回避するため、2 箇所を設置した投入口から路下に投入した。HPCa 部材は 2 台のラフタークレーン（160t 級・65t 級）を用いて建て起こした後、軌条設備上に設置した架設機により設置箇所まで運搬した（写真 2）。



写真2 HPCa 部材投入・運搬状況

HPCa 部材を設置箇所まで運搬後、チェンブロック（10t 級）にて精度管理を行いながら、HPCa 部材の据付を行った。据付後、鉄筋継手のモルタル充填を行い、底版・HPCa 部材の一体化を図った。その後、内部の配力筋・ハンチ筋等の組立を行い、中詰コンクリートを打設した（写真 3）。

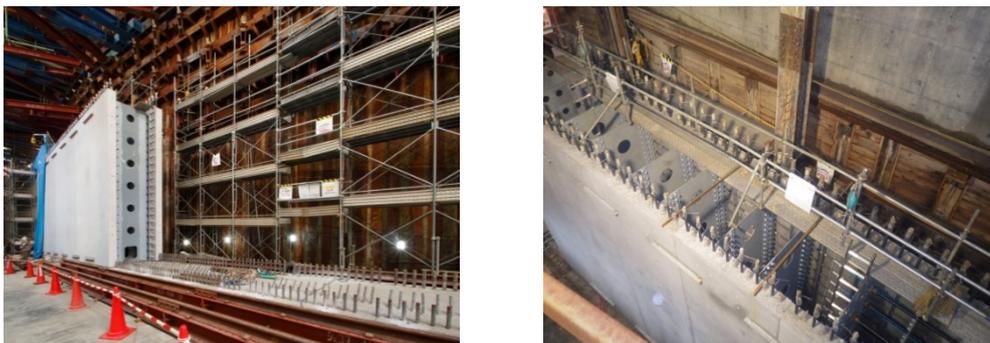


写真3 HPCa 部設置完了・コンクリート打設前状況

4. HPCa 採用の効果

適用区間は延長 60m の比較的短い範囲であったが、現場打ちコンクリートと比較して労務を 80%に低減し、更に、函体構築期間を 75%に短縮できた。

急峻地でのトンネル施工における生産性向上の取組み事例

高低差43mのトンネル坑口へのアプローチ等の工法検討

工事概要

当工事は中部横断自動車道（静岡県清水市～長野県小諸市）のうち、富沢ICから六郷IC区間におけるトンネル工事である。本路線は新東名高速道路、中央自動車道や上信越道の各高速道路とのアクセス道路としてだけでなく、物流体系の確立や広域的観光ゾーンの開発・支援等に寄与するものとして期待されているが、施工箇所周辺には民家が点在しており、環境対策にも十分な配慮が求められた。

当工事においては、トンネル坑口部へのアプローチや作業構台に関して施工方法を大幅に変更して施工を効率化することで地元住民への配慮や周辺環境への対策と同時に工程の短縮を図り、生産性向上につなげた。

施工効率化の取組み

施工の効率化のポイントとして

【ポイント1】坑口へのアプローチ見直し（同時に周辺環境への配慮）

計画変更（インクラインの採用）

【ポイント2】坑口部作業構台の見直し

省力化・効率化工法を採用した計画変更

1. 坑口へのアプローチの見直し

トンネル坑口が地盤高より約43m上に位置するため、当初は傾斜地用栈橋架設工法（LIBRA工法）による仮栈橋を設置してアプローチする方法で設計されていた。



坑口部状況（施工前）



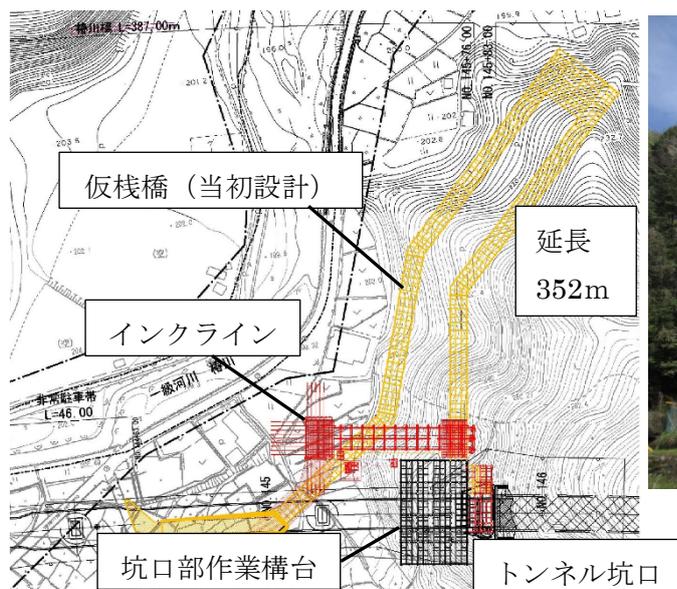
坑口部状況（施工中）

しかし、仮栈橋は最大勾配12%で延長が352mあるため、施工のための大規模な山林伐開が必要なこと、施工中に地元住民への騒音・振動が続くこと、仮栈橋完成後も大型車両の往来により騒音・振動および排出ガス（Co₂）が発生すること、そして冬季の凍結によるスリップ事故等様々な負の要因が考えられた。

そこで当工事では、仮栈橋に比べ伐開範囲が少なく、施工期間も8ヶ月短縮（18ヶ月→10ヶ月）でき、騒音・振動・Co₂も抑制可能なインクライン（斜行エレベーター）に変更した。

本工事で設置したインクラインの仕様を以下に示す。

【最大積載荷重：80tf、勾配：38.2°、軌道長：77.1m】



仮栈橋とインクラインの比較図



インクライン・作業構台全景

2. 坑口部作業構台の見直し

インクラインの最大積載荷重を80tfとしたことにより、インクラインの台車上から大型のクレーンを用いた坑口部作業構台の施工が可能となった。そこで、構台基礎杭のスパン長を長くし、基礎杭の本数を減らすことで、0.5ヶ月の工程短縮（2.5ヶ月→2.0ヶ月）を図った。なお、架設工法もLIBRA工法からSqCピア工法に変更した。



台車上からの作業構台施工状況

今後について

大型のインクラインについては施工事例も少なく、試行錯誤を繰り返しながらの施工となりましたが、栈橋形式と比較すると、地形の条件が悪いところでも環境に優しく、工程短縮も図れることから、生産性向上にも寄与できるため、活用範囲も広がると思われる。

UFC ホロ一桁適用による効率的な鉄道橋架替え工事

UFC ホロ一桁の適用で、様々な制約条件を克服し、桁の架替えを実現

1. 工事概要

京王井の頭線の下北沢駅は、小田急小田原線との鉄道路線交差部にあたる駅である。当該駅付近では、代々木上原～梅ヶ丘駅間の連続立体交差、および複々線化事業に伴い地下構造となった小田急線直上において新しい鉄道橋の架け替え工事を行っている。本稿では、施工時間、地下構造物への影響等様々な制約条件を、超高強度繊維補強コンクリート（Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete 以下、UFC）を採用し、高強度かつ軽量化可能な UFC の特性を活かした橋梁の架け替え事例について記載する。

2. UFC の特徴

UFC の材料的な特徴は、①高強度、②高流動、③高靱性、④高耐久である。圧縮強度は平均で 200N/mm² を発揮し、設計の特性値として 180N/mm² を用いる。また、鋼繊維が配合されているため鉄筋が不要であること、粗骨材を含まないこと、そして高い流動性を活かした自己充填性が挙げられる。そのため、一般的なコンクリートと比べて部材を薄肉化した設計・施工が可能である。さらに、UFC はコンクリート自体を引張部材として考慮することもできる。また、UFC は水粉体比が 20%以下と低く、反応生成物の空隙が極限まで最密充填された高緻密な材料であるため、物質の侵入抵抗性が非常に高く一般的なコンクリートと比べて格段に高い耐久性を有する。

3. UFC 桁採用の背景

当該区間の鉄道橋は、図 1 に示すように、架け替えにより上下線とも小田急線の地下躯体と交差する 3 径間（橋梁 1～橋梁 3）の単純桁橋となる。橋梁 1 および橋梁 3 は、架設箇所の周囲が狭隘で十分な構築スペースを確保できないため、小田急線の地下躯体上にある工事エリアからクレーンで架設する必要があった。当初計画では橋梁 1 と橋梁 3 は PC 桁で計画され、桁自重が大きいものであった。そのため、架設用のクレーンが大規模となり小田急線地下躯体への影響が懸念された。そこで、橋梁 1 および橋梁 3 は、主桁の軽量化を目的として UFC を採用することとなった。

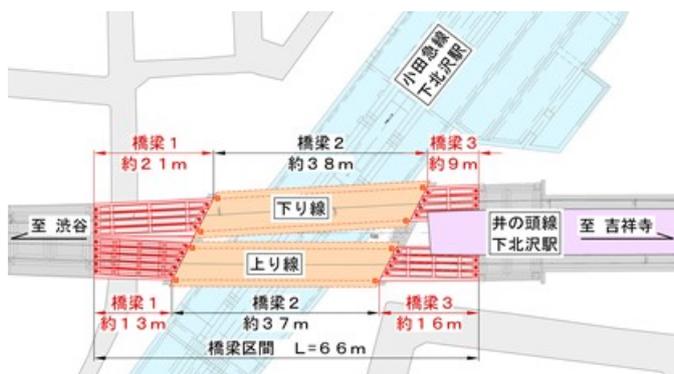


図-1 計画平面図

4. UFC 桁採用による効果

UFC 桁に架け替える前は、準備工事として既設の橋脚と上部工が撤去され、一時的に配置された工事桁上を列車が運行している状態であった。そのため、営業線の運行に支障のないように終電～翌日の初電までの時間帯で工事桁から UFC 桁へ架け替える必要があった。本橋の構造一般図を図 2 に示す。橋梁 1 および橋梁 3 は、4～5 本の UFC ホロー桁から構成されている。UFC ホロー桁は 2 次製品工場にて 1 本の桁を 3 分割したセグメントとして製作し、架設現場近くの工事ヤードで一体化するプレキャストセグメント工法により施工された。隣接する UFC ホロー桁間に間詰めコンクリートを打設した後に、横方向にプレストレスを導入して一体化することで完成系の構造となる。

高強度の UFC を採用したことにより、桁重量が普通コンクリートの PC ホロー桁と比較して約 30% 軽量化され、2 本の桁で一時的に営業運転が可能になったことから、2 本の桁を一体化した UFC ホロー桁に仮軌道を載せた状態で先行して架け替える段階施工を行うこととした。

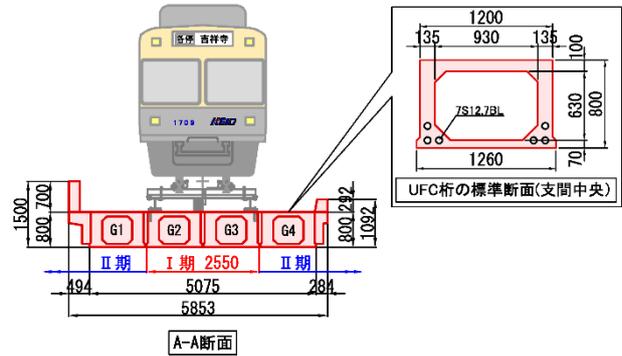


図 2 ホロー桁構造一般図



写真 1 ホロー桁地組状況

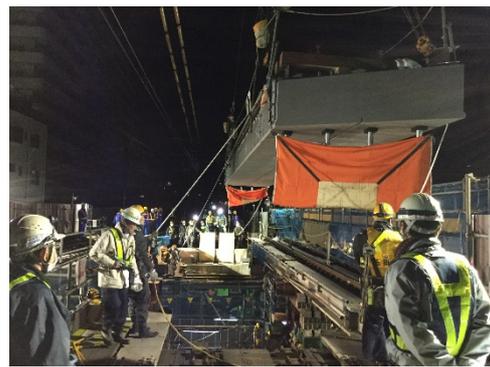


写真 2 ホロー桁架設状況

これにより架設用クレーンが小型化され、また位置調整・ストッパー設置等 1 晩当たりの作業が削減されたことで、終電～翌日の初電までの時間内に、滞りなく架替え工事を完了させることができた。I 期施工では、写真-1 および写真 2 に示すように、2 本の桁を一体化した UFC ホロー桁に仮軌道載せた状態で先行して架け替え、II 期施工では、I 期施工で先行して設置された 2 本の桁のホロー桁の脇に UFC ホロー桁を 1 本ずつ架設し、桁間に間詰めコンクリートを打設した後に、I 期・II 期施工の桁全体を横方向のプレストレスを導入することにより一体化する工程である。

5. 今後の展望

鉄道や道路等のインフラ構造物の更新や整備工事は、利用者の日常に大きく影響する可能性があり、短時間で確実に行われることが必要とされる。今回の UFC ホロー桁の架替え工事を例に、今後、UFC を用いた技術開発を推進展開して、社会インフラの円滑な更新と整備に貢献したいと考えている。

プレキャストボックスカルバートによる生産性向上

ハーフプレキャスト適用による高速道路インターチェンジの生産性向上

1. 工事概要

本工事は海老名～御殿場間に建設中の新東名高速道路のうち秦野インターチェンジを構築する工事である。本線およびランプ部の土工工事 200 万 m³ の切盛土工事、道路ボックスおよび水路ボックス工事（11 箇所）、トンネル工事（上下線延長 1300m）、橋梁下部工（21 基）、その他、付け替え導水路および砂防堰堤等の工事である。

特にインターチェンジ部は全長 2km とアプローチが長く、切土区間の大半を占めることから本線への盛土運搬に向け早期の本線へのアプローチが必要であった。

2. 横断ボックスのプレキャスト化の検討

まず、本工事の特徴として急峻な地形箇所が多く、工事用車両のアプローチ箇所が 2 箇所（起点側 1 箇所、ランプ起点側 1 箇所）と限られることから、工事を進めるにあたり早期に全線にわたり工事用道路をつなげる必要があった。特に、ランプ部は 3 箇所の機能補償道路および水路ボックスがあり工事用道路接続のためボックスカルバートのプレキャスト化の提案が採用された。躯体断面が大きい水路ボックスでのプレキャスト化においては、安全性、経済性および施工性を考慮し頂版を現場打ちとするハーフプレキャスト方式を採用し、コスト削減を図った。図 1 にハーフ PCa ボックスの概要を示す。

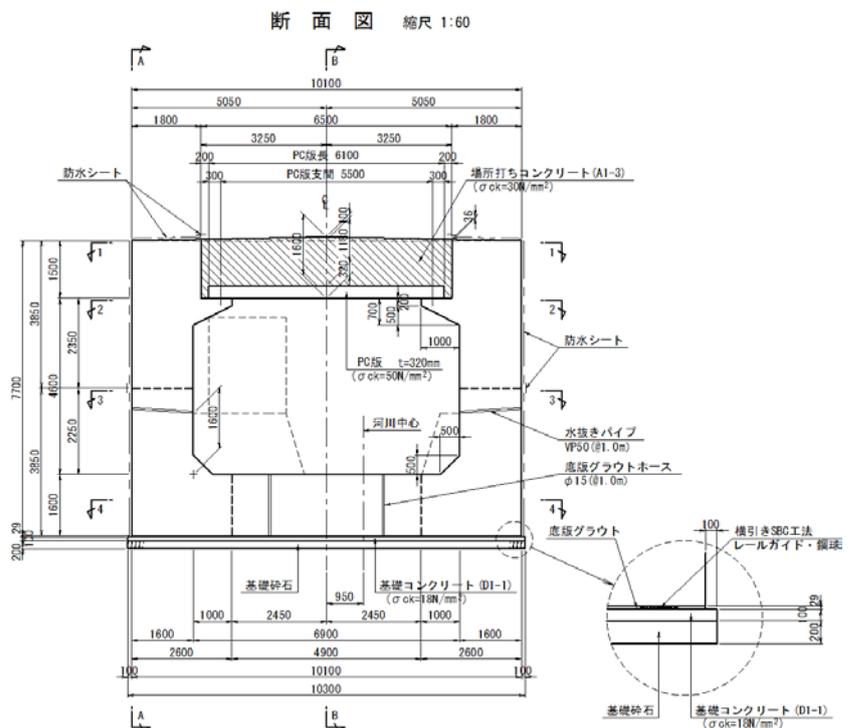


図 1 ハーフ PCa ボックスの概要



プレキャスト部据え付け状況



現場打ち部配筋状況

3. 取組みの効果

今回、プレキャスト化の採用は対象ボックス全延長 88.37m のうち工期への影響が大きな中央部の 36.75m とした。

ボックスカルバートのプレキャスト化によって場所打ち工法による施工では約 10 ヶ月掛かる部分を約 5 ヶ月に工期短縮を図ることができた。また、プレキャストを通常の二次製品ではなく現場打ちの複合ハーフプレキャスト工法を採用したことにより、コストについても全て二次製品とした場合よりも 30%削減することができた。表 1 に全プレキャストとハーフプレキャストの比較表を示す

表 1 全プレキャストとハーフプレキャストの比較
(全延長をプレキャストとした場合)

工 法	プレキャスト+現場打ち併用ボックスカルバート			プレキャストボックスカルバート		
概略断面図	プレキャストボックスカルバート 全ブロック L=27m 	プレキャストボックスカルバート 全ブロック L=24.5m 	プレキャストボックスカルバート 全ブロック L=36.75m 	プレキャストボックスカルバート 全ブロック L=27m 	プレキャストボックスカルバート 全ブロック L=24.5m 	プレキャストボックスカルバート 全ブロック L=36.75m
設計条件	上載荷重 : T-25 (q=10kN/m ²) 土の単位体積重量 : γ=19kN/m ³ 土被り : Hd=17.5m			上載荷重 : T-25 (q=10kN/m ²) 土の単位体積重量 : γ=19kN/m ³ 土被り : Hd=17.5m		
品質性	① 材料・配合・製造設備・施工等の管理を良好に行いやすい。 ② 熟練した作業員によって継続的に製造可能である。 ③ 製造・運搬・組立等の作業を機械化しやすく、省略化が可能である。 ④ 作業の容易な場所でコンクリートの打込みが行え、天候に左右される事が少ない。			① 材料・配合・製造設備・施工等の管理を良好に行いやすい。 ② 熟練した作業員によって継続的に製造可能である。 ③ 製造・運搬・組立等の作業を機械化しやすく、省略化が可能である。 ④ 作業の容易な場所でコンクリートの打込みが行え、天候に左右される事が少ない。		
施工性	① プレキャスト製品の使用であり、一部現場打ちがある(頂板部の施工であり熟練を必要としない) ② 曲線施工は対応可能。 ③ 縦断勾配施工は対応可能。 ④ 型枠準備工として2ヶ月は必要となる。			① プレキャスト製品の使用であり、施工性は良い。 ② 曲線施工は対応可能。 ③ 縦断勾配施工は対応可能。 ④ 型枠準備工として2ヶ月は必要となる。		
概算工事費 (直接工事費)	概算施工日数 293 日 現場打ちを1.00 日 総延長当り (0.43)			概算施工日数 254 日 現場打ちを1.00 日 総延長当り (0.37)		
総合評価	○			△		
	現場打ちを1.00とした場合 (3.11)			現場打ちを1.00とした場合 (4.29)		

4. まとめ

工期短縮が必要となる現場打ちボックスカルバートをプレキャスト構造に変更することで約 5 ヶ月の工期短縮を達成するとともに、ハーフプレキャスト構造とすることでコスト削減も実現できた。

「PC 桁セグメント運搬台車」を使用した生産性向上

PC 桁架設工事の効率化を実現、工期短縮に貢献

1. 工事概要および開発・現場導入経緯

本台車を導入した工事は、新京成線の鎌ヶ谷大仏駅～くぬぎ山駅間約3.3kmの高架化事業の内、第一工区上り線側のPC桁架設工事である。

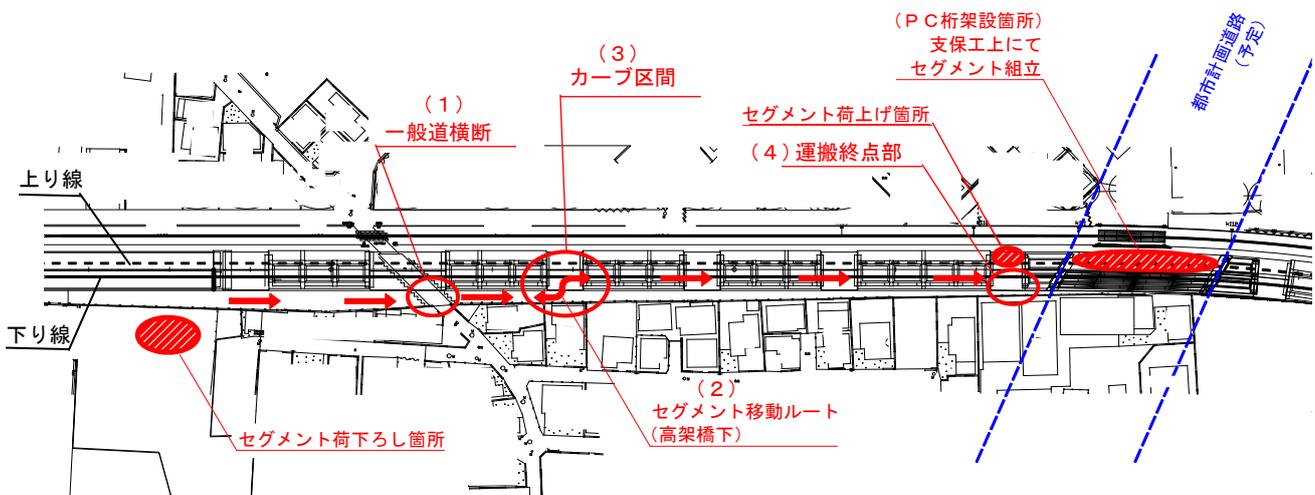
工事は1線仮線方式を採用し、下り線側を一期施工、上り線側を二期施工の分割施工となっている。2017年4月に一期施工が終了した。

一期施工時は構築された下り線高架橋上に軌条設備を200m以上設置してPC桁セグメントを軌上運搬し、高架上でプレテンションしたPC桁主桁をWガーダー方式で架設した。今回二期施工は高架化された下り線と仮上り線に挟まれた狭隘な箇所での施工の為、一期施工と同様の軌条設備の設置幅がなく、且つ高架上に軌条設備を設置するためには構築完成まで約5ヶ月を待たなければならなかった。このような問題を解消するため、PC桁セグメントを地上運搬させることが必要になり「PC桁セグメント運搬台車」を開発・導入し、5ヶ月の工期短縮を実現した。

2. PC 桁セグメント運搬台車の仕様および開発特徴

工事区域内における地上運搬経路には以下4つの条件がある。

- (1) 高架橋側道幅員3m、及び一般道（幅員5m）の横断1ヶ所
- (2) 高架橋下走行時の高さ制限（3.8m）
- (3) 高架橋側道から高架橋下に導くカーブ区間（曲線半径10m）
- (4) PC桁セグメント運搬終点での荷揚げ箇所までの横移動



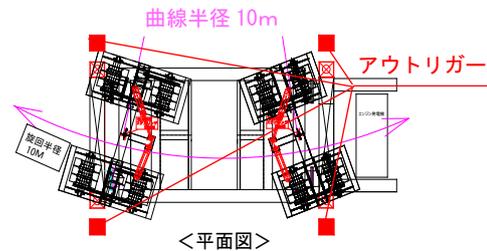
PC 桁セグメントの運搬経路平面図

PC 桁セグメントは最大重量27 t、長さ5.6 m、高さ2.4 mである。条件（1）、（2）は運搬台車の仕様形状寸法より対応可能である。条件（3）曲線半径10 m区間走行時はアウトリガージャッキを使用した曲線操舵時の負荷低減機構、及び条件（4）運搬終点部での横移動は鉄輪装着フレーム上でアウトリガーを使用した横移動機構で、運搬経路における条件全てに対応できた。

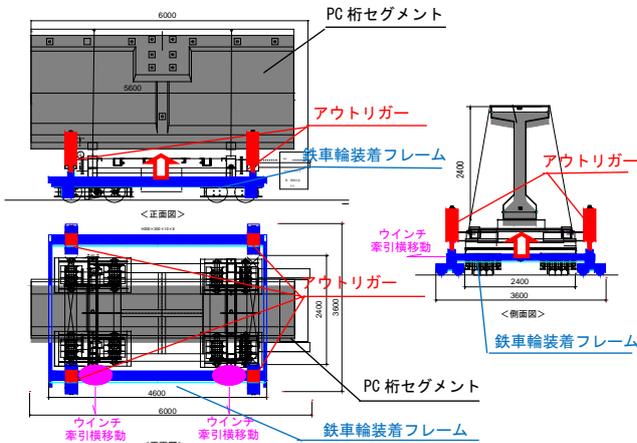
30 t ウェイトによる試験、現場要求性能確認、走行時警報音及び回転灯を装備し現場導入した。

PC桁運搬台車仕様	
定格積載重量	30トン（PC桁重量 27トン）
全長	5,400mm
全幅	2,400mm
高さ	1,370mm
荷台最小高さ	950mm
本体質量	6,200kg（発電機含む）
走行速度	高 9.0 m/min. 中 4.5 m/min. 低 3.0 m/min.
走行運転は	操作ボタン
走行電源	200V 9.9KVA発電機を搭載
発電機燃料	軽油 タンク容量37リットル

PC 桁セグメント運搬台車仕様



アウトリガージャッキを使用した曲線操舵機構



運搬終点部での鉄車輪装着フレームを使用した横移動機構



横移動試験状況



一般道横断



高架下への曲線路運搬



終点部横移動

二期工事工程表

※赤色が当初のWガーダー施工クリティカルライン

構築工	2017			2018												2019								
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
始点部構築工	地盤改良工			基礎構築				高架橋構築					地覆高欄トラフ											
当該PC桁架設（当初）	下り切替			基礎構築				高架橋構築					PC桁工（Wガーダー施工）地覆高欄トラフ				5ヶ月短縮							
当該PC桁架設（今回）	下り切替			基礎構築				高架橋構築					PC桁工（実工程）				5ヶ月短縮							

3. まとめ

本台車は当社独自開発である硬質ゴムタイヤを装着した重量物運搬台車である。現場のニーズに合わせて改良し応用する可能であることから、今後も施工効率、生産性向上に貢献できると期待される。

シート敷設の海上・海中作業の機械化

幅広加工したシートの一括敷設で生産性を向上

海上、海中作業の労働生産性を向上

埋立造成では、波浪や潮流によって捨石の隙間から土砂が流出しないよう、捨石マウンドに防砂シートを敷設する。また、管理型海面処分場では、外周護岸に廃棄物や溶出物が漏れ出さないよう、遮水シートを敷設する。こうしたシートの敷設は、従来は潜水士による作業であったため、水深が深くなると作業効率の低下や海上での作業であるため荒天休止による工程遅延が懸念された。

機械式シート敷設工法は、工場あるいは陸上ヤードで出来る限り広く加工したシートを機械で一括敷設する。この工法の理念は施工のプレキャスト化であり、海上作業現場における人力作業を低減して生産性を向上する。さらには、潜水士による海中の作業を大幅に減らし、安全性が向上する。

海上でのシート敷設の際には、GNSS と水深計等を活用した施工管理システムによって敷設位置を一元管理して誘導するため、出来形・品質の確認作業も効率的に行える。

陸上での準備

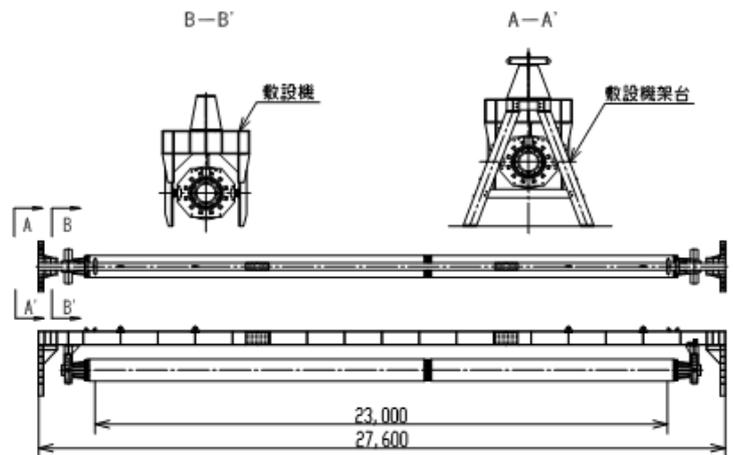
機械式シート敷設工法では、最大 23m の幅までを巻き取ることができる鋼管軸に、陸上でシートを巻き取る。この際、ウエイトチェーンと呼ばれるチェーンをシートの上に格子状に配置する。このウエイトチェーンは、海中でシートを繰り出した際に速やかに沈め、安定させる目的で取り付ける。このウエイトチェーンによって、海中でのシートの固定作業は不要となる。



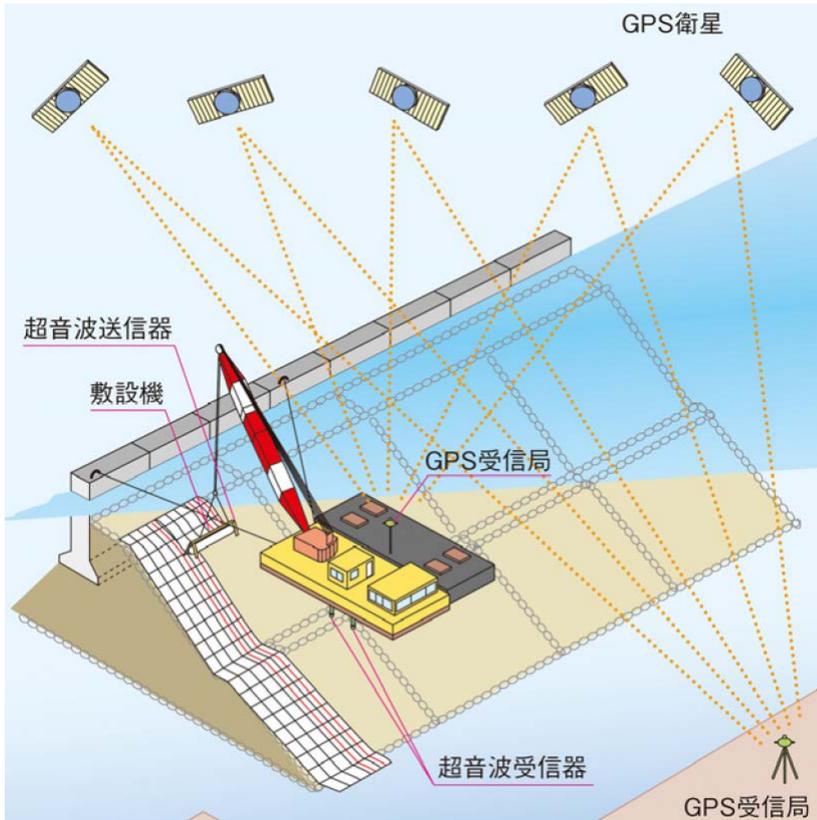
広く加工された防砂シート

海上での敷設

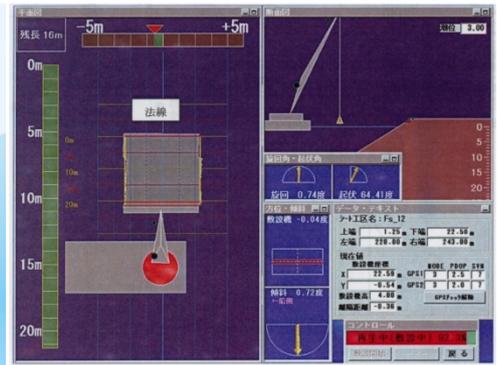
鋼管軸に巻き付けられたシートを、台船等で海上の敷設位置に運搬し、機械式シート敷設機に取り付ける。その後、クレーン付台船で吊上げて所定の位置に旋回し、シート端部をケーソン等に固定したのち、順次繰り出しを行いながら敷設する。



機械式シート敷設機



シート敷設状況図



モニター画面

敷設の際には、GNSS と水深計等を活用して計測し、位置を施工管理システムで一元管理する。

海上でのシート敷設作業は、機械式で行い、その誘導や計測もシステム上のモニターを用いて行えるため、潜水作業が不要となる。



防砂シート敷設



遮水シート敷設



水中カメラモニター

潜水作業の大幅低減

近年は、コンテナ船の大型化に伴って整備する岸壁が大深度化する傾向にあり、大深度でのシート敷設の必要性も高くなる。従来の敷設方法では、1日あたりの敷設面積は500㎡程度であるが、例えば水深21mの潜水作業であれば実作業時間は1日2時間程度であるため、500㎡を敷設するためには4人の潜水士が必要となる。この場合、10,000㎡敷設する工事であれば80人分の低減効果となる。

機械式シート敷設工法では1日あたり2,000㎡程度敷設することができるため、 $4人 \times (2,000 \div 500) = 16$ 人の潜水士作業を低減できる。また、大深度においては潜水士病のリスクも高く安全性も向上する。

出来形、品質確認の効率化

シートは、漏えい防止が目的であるため、位置精度に加えてシートどうしの重ね合せを確実に確保することが重要である。機械式シート敷設機には上記位置計測機能に加え、水中カメラが取付られており、リアルタイムにモニターで確認できるため、確実な品質確保が可能である。

施工管理システムのデータはシート位置の出来形確認資料として活用できるため、事後の確認等の作業を省略することができる。

鋼桁と RC 床版のずれ止め切断に関する研究

RC 床版の更新事業におけるウォータージェット活用による新工法の開発

研究の背景

コンクリート床版と鋼桁からなる合成桁橋は、経済性と合理性により 1950 年代から 60 年代に多く建設されており、都市高速道路網が整備される中で数多く採用された。建設後 50 年を迎え、想定以上の交通量の増加などによって床版の損傷が激しくなり、床版取替工事が数多く計画されている。合成桁橋梁の RC 床版の取り替えは、初めに標準部の床版を切断・撤去し、後から鋼桁上部の床版を人力研りにて撤去するが、鉄筋とずれ止め（スタッド）が過密に配置されているため、現状では短時間に既設鋼桁と RC 床版を分離できず、このことが床版取替工事におけるクリティカルパスになっている（図 1）。通行止め後の床版撤去の作業期間の短縮を目標とした、ウォータージェット（以下 WJ）活用による新工法を開発した。

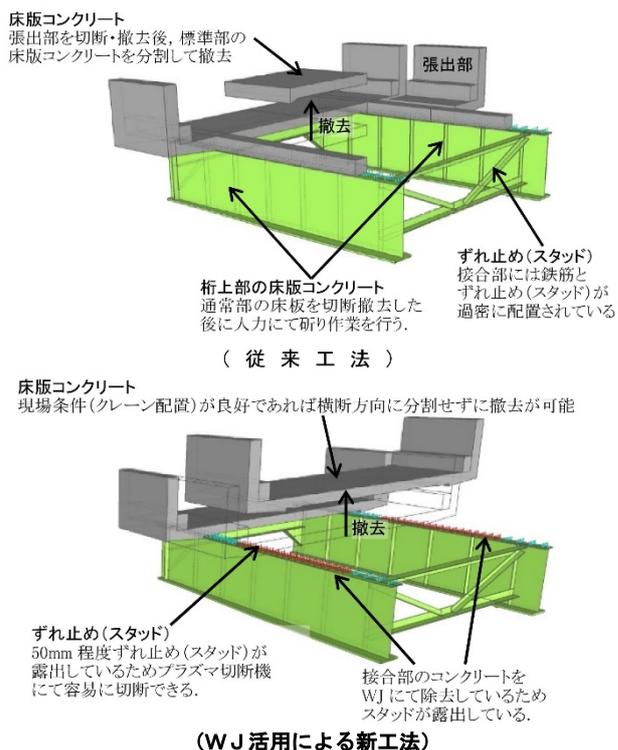


図 1 撤去方法の比較

開発技術の概要

本工法は交通供用下の床版下面より、鋼桁と RC 床版の接合部を WJ で研り、鋼桁上のずれ止め（スタッド）を全線に渡って 5cm 程度露出させ、露出させたスタッドに鋼製補強材を装着し、合成桁としての性能を損なうことなく交通供用を継続させる。本工法の施工手順を図 2 に示す。

- ①交通供用下において鋼桁と床版の接合部のハンチコンクリートを WJ で除去する。
- ②コンクリートが除去された桁と床版の隙間に鋼製補強材とモルタルによる仮補強を設置する。
- ③通行止め後に仮補強を撤去して、床版を橋軸直角方向に切断し、床版を撤去する際にプラズマ切断機によりスタッドを切断する。

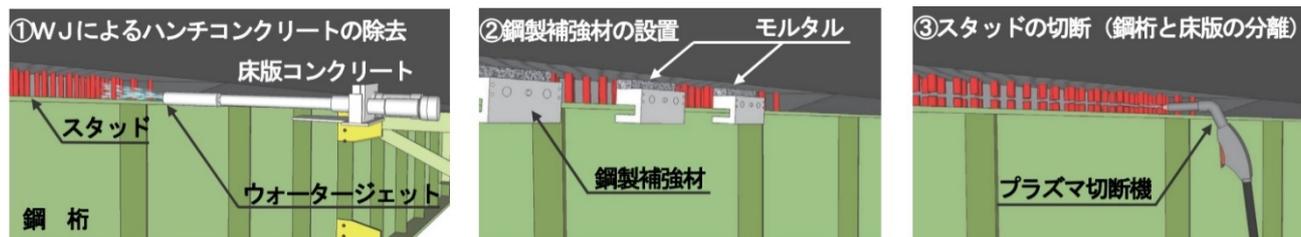


図 2 WJ 活用による新方法の作業手順

防水型吊り足場

都市高速道路のリニューアル工事ではクレーンや高所作業車の配置に制約があり、吊り足場の資材搬入・組立が困難となる場合がある。そのような状況を想定し、日綜産業株式会社の先行床施工式フロア型システム吊り足場(クイックデッキ)を採用した(写真1)。クイックデッキは従来の吊り足場用チェーンの5倍以上の強度を有する高強度チェーンを採用しており、最大吊チェーンピッチ5mを実現している。主桁間隔4mに架設する吊り足場を、特段の補強や斜め吊りチェーンを必要とせずに設置でき、吊りチェーン箇所数を少なくできることが、採用の決め手となった。各パーツは差し込みピンで固定するなどシステム化されており、熟練工でなくても作業の効率化が図れる工夫がなされている。



写真1 クイックデッキ作業状況



写真2 防水床面(吊り足場上部)

WJ施工にあたり、吊り足場床面の漏水が課題であった。そこで、防水機能と漏水検知機能を備えた吊り足場構造を開発した(写真2)。主な特徴を以下に示す。

- ①アスファルト防水シートを吊り足場床面に敷き詰めることで、高い防水・防音機能を有する。
- ②吊りチェーンと床面の交差部にシリコンを充填し、振動に強い止水機能を有する。
- ③漏水検知センサを配置し、漏水の早期発見、漏水箇所の特定が可能なモニタリング機能を有する。

床版の撤去

橋面上の施工幅が狭く大型クレーンの設置が困難であったため、高欄を含む張り出し部を先行して撤去し、床版の吊り上げ重量を軽減することで一度に撤去する面積の拡大を図った。スタッドの切断はプラズマ切断機を採用し、鋼桁への熱伝達の低減、作業時間の短縮(1カ所当たり10秒程度)を図った。床版撤去は、鋼桁補強を避けるため隣接径間に25tクレーンを据えて行い、高欄部分を除く横断方向を一括して撤去した(写真3)。

径間長20m、2主桁、1径間の床版撤去の場合、桁上コンクリートを後から手研りする従来工法では通行止めが18日程度必要となるが、本工法では9日程度と約半分に短縮できる(表1)。通行止め期間が大幅に短縮されることにより、車線規制にかかる多くの人員が削減でき、生産性向上に寄与できる。実際の施工事例では、径間長22m、2主桁、3径間の床版撤去を20日間で完了している。



写真3 床版の横断方向一括撤去

表1 工程短縮効果の試算

(従来工法)		(WJ活用による新工法)	
工種	日数	工種	日数
床版切断	6日程度	仮補強材撤去・床版切断	6日程度
床版ブロック撤去	6日程度	床版ブロック撤去	3日程度
桁上破砕	4日程度	桁上破砕	なし
スタッド撤去	2日程度	スタッド撤去	なし
通行止め計	18日	通行止め計	9日

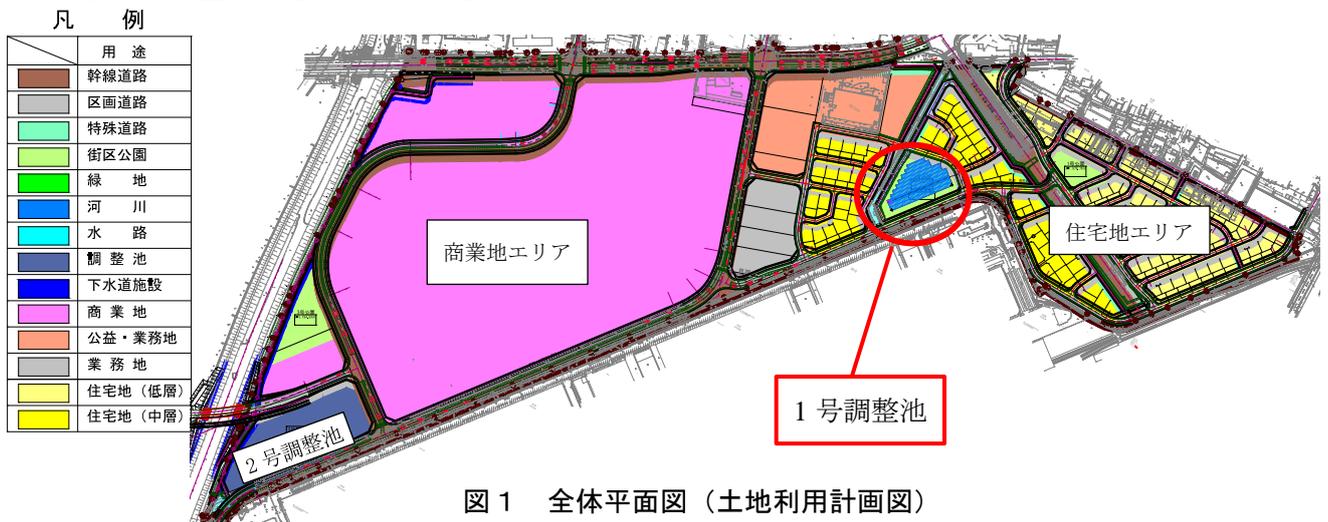
※本工法は、阪神高速道路株式会社、第一カッター興業株式会社と共同で開発した工法です。

地下貯留式調整池の施工における生産性向上の取組み

土留め掘削方法の工夫とプレキャスト化により生産性を向上

1. 工事概要

当工事は宮城県宮城郡利府町字新揺橋地内において、施工面積約 37.6ha の造成工事を行うものである。造成区域内には、商業用地、住宅地、公園、道路、調整池がレイアウトされ、調整池はオープン式と地下貯留式の 2 箇所となっている（図 1）。1 号調整池は計画地内の敷地を有効利用するため地下貯留型とし、上部に 2 号公園を整備する。掘削深さが約 5.5m と深く、周囲を町道及び農業用水路に囲まれている。1 号調整池の施工の際に実施した生産性向上を目的とした取組みを紹介する。



2. 生産性向上を目的とした施工方法の選定

(1) 土留め工法の選定

軟弱地盤においてオープン掘削を実施する場合は、安全な掘削勾配を確保するために広大な施工ヤードが必要である。また、土留め掘削の場合は、土留め支保材の干渉により施工能力が低下したり、掘削時にダンプトラックの直接乗入・積込が困難となるため工期が著しく伸びる傾向にある。上記の課題を克服するため、中層混合処理土による重力式擁壁を採用した。標準断面図を図 2 に示す。

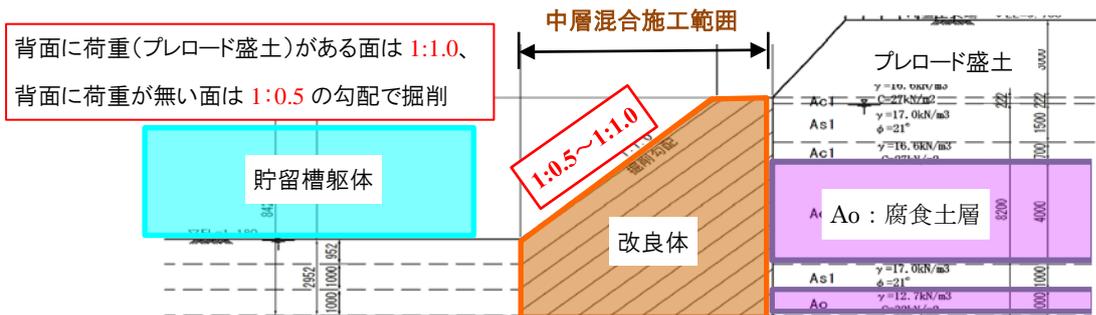


図 2 標準断面図（概要図）

軟弱地盤を改良し掘削勾配を小さく（最小1:0.5）することで、オープン掘削を可能とした。改良体を形成する中層混合処理工法は、パワーブレンダー工法（スラリー噴射攪拌方式）を採用した（写真1）。

以上より計画された1号調整池の平面図及び断面図を図3に示す。容積 $V_1=7,411\text{m}^3$ 、内空高 $H=3.5\text{m}$ 、掘削土量 $V_2=19,500\text{m}^3$ 、掘削底面積 $A=2,500\text{m}^2$ となった。



写真1 中層混合処理工法 施工状況

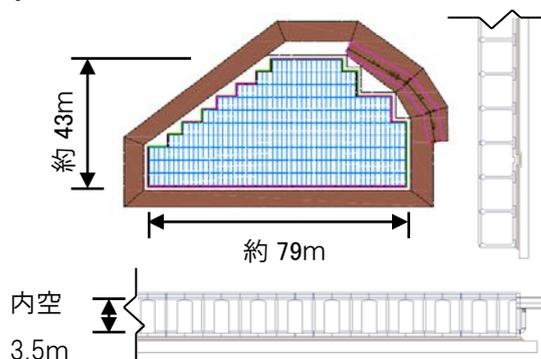


図3 1号調整池 平面図・断面図

(2) 地下貯留槽の施工方法選定

地下貯留槽の施工方法には、現場打ち鉄筋コンクリートによる方法と、プレキャスト製品を使用した方法がある。各施工方法を比較した結果、表1に示すとおりとなった。プレキャスト工法は、工事費が高く（1.28倍）なるが、工期（0.28倍）、品質、安全性（施工性）の優位を評価し、プレキャスト工法を採用した。

プレキャストブロックはスタンド型タイプを採用した。部材は中間ブロック（4.4t）：104本、端部ブロック（5.5t）：328本、頂版ブロック（6.0t）：380本からなり、50t ラフタークレーンを使用し据付けた（写真2）。妻側の側壁及び底版は現場打ちコンクリートである。現場打ち部との結合は、プレキャスト部材に埋め込んだSインサートに鉄筋を挿入し、現場打ち部の鉄筋と重ね合わせ打設した。

表1 地下貯留槽 工法比較検討表

	現場打ち工法		プレキャスト工法	
	品質 出来型	△	工場製作により均一で良質な製品となる	○
安全性	型枠や支保工などの作業場の障害が多く、安全性に劣る	△	型枠や支保工などの作業場の障害が少なく、安全性が高い	○
概算 工期	228日(1.00)	△	64日(0.28) (別途 工場製作 160日)	◎
概算 工事費	1.00 (基準)	○	1.28	△

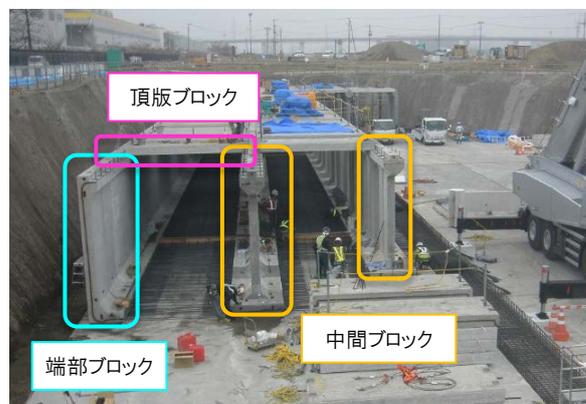


写真2 プレキャスト地下貯留槽 部材

3. 取り組み結果

地下貯留槽の施工にあたり、本工事では土留め工法として改良体による重力式擁壁を採用することにより、軟弱地盤における掘削勾配を小さくでき、施工ヤードが狭い場合でもオープン掘削が可能となった。調整池として地下貯留槽をプレキャストで施工した結果、現場打ちと比較して工期を72%短縮した。



写真3 プレキャスト部材 据付完了

橋軸方向プレストレス・壁高欄一体化による取替床版の施工性向上

工程を短縮し、対面交通規制を最短で解除せよ！

1. 工事概要

本工事は、特定更新事業として、北陸自動車道鯖江 IC から福井 IC の区間に架かる太田高架橋(上り線)の床版取替工事を行うものである。高速道路において実施される床版取替工事では、基本的に右図のように車線を閉じて施工が行われるため、対面通行規制を伴うことが多い。対面通行規制区間では、上り線下り線の分離を仮設構造物によっており、また車線幅が減少していることも多いなど、交通の安全性からは工事施工期間をできる限り短縮して規制を解除する必要がある。そのため、本工事では、「橋軸方向プレストレス導入」、「壁高欄と床版の一体製作」によって工程の短縮を図った。



床版取替工事モデル

2. 橋軸方向プレストレスによる効果

表 1. 橋軸方向構造の検討

橋長 160m 程度の鋼 I 桁橋における床版取替工事(橋面積 1900m²)を対象として、橋軸方向構造の検討を行った結果を表 1 に示す。表 1 より、床版同士の接合部を RC 構造(RC ループ継手)とした場合、間詰部の鉄筋配置・コンクリートの打設・養生等、橋面上における作業が錯綜しが

	PC構造(橋軸方向プレストレス)	RC構造(RCループ継手)
床版接合部の構造		
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 橋面作業が少ない ⇒ 工期短縮 ひび割れのコントロールが可能 ⇒ 接合部の耐久性向上 	<ul style="list-style-type: none"> 橋面作業が多い ひび割れをコントロールできない 初期コストの最小化
工期短縮効果	7日	—

ちである。本工事では、PC 構造(橋軸方向プレストレス)を採用することにより、橋面作業が減少し、工程を短縮することができた。また、PC 構造の場合には橋軸方向、直角方向の 2 方向でプレストレスによる応力制御が行えるのに対して、RC 構造の場合には、橋軸方向の曲げに対してひび割れをコントロールすることができないため、PC 構造に比べて耐久性に劣ると考えられる。



PC 床版の製作



PC 床版設置



PC 鋼材



プレストレス導入

3. 壁高欄一体化による効果

表 2. 壁高欄施工方法の比較

前記同様に橋長 160m 程度の鋼 I 桁橋における床版取替工事（橋面積 1900m²）を対象として，壁高欄施工方法の検討を行った結果を表 2 に示す。壁高欄は，現場において施工されることが一般的であり，工程を長らしめる主な原因の一つとなっている。そこで，壁高欄を PC 床版とともに工場一体製作することで，現場における床版設置と壁高欄の構築が同時に施工できることとなり，大幅な工程短縮が可能となった。

施工方法	PC床版と壁高欄を一体化	床版設置後、壁高欄を現場施工
構造概要	 工場でPC床版に壁高欄を打継ぎ、一体化	 壁高欄⇒現場施工 PC床版⇒工場製作
施工期間 (対面交通規制期間)	29日間 PC床版＋壁高欄一体架設：16日間	46日間 PC床版架設：16日間 壁高欄現場施工：18日間
工期短縮効果	17日	—



工場にて PC 床版と壁高欄一体製作

4. まとめ

橋軸方向のプレストレス導入による間詰コンクリートの省略，壁高欄の工場製作化等の工程短縮施策により，予定通りの対面交通規制期間（32 日間）で作業を終えることができた。



壁高欄が一体化した PC 床版

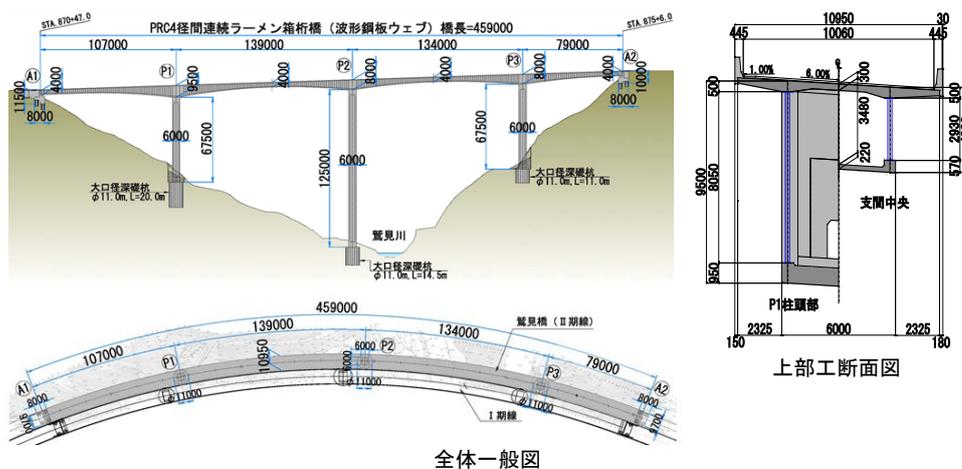
参考文献) 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 床版設計・施工マニュアル，1999. 5

鷺見橋工事（Ⅱ期線）の上下部工における生産性向上への取組み

高さ 125m の橋脚を有する橋梁への急速施工技術の適用

工事概要

鷺見橋（Ⅱ期線）は、東海北陸自動車道 白鳥 IC～飛騨清見 IC の 4 車線化事業のうち、高鷺 IC ～ひるがの高原 SA/SIC 間に位置する橋梁であり、橋脚高さは現在日本一であるⅠ期線 118m を上回る 125m である。本橋梁地区は岐阜県内でも



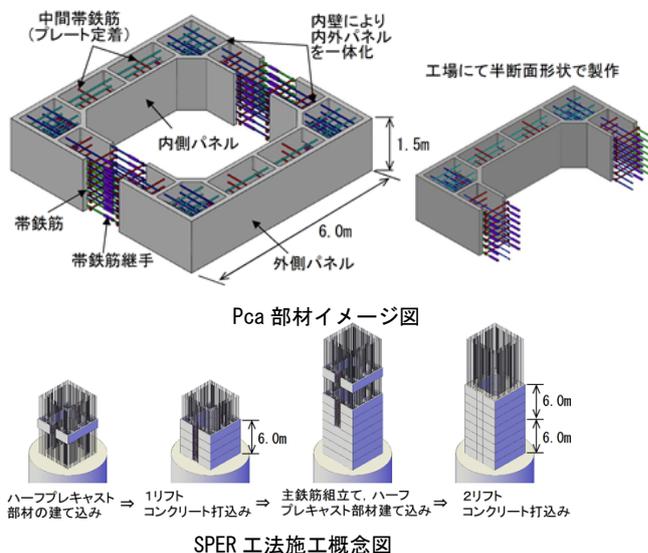
有数の豪雪地域で、冬季は積雪により施工期間が限定されることから、工程短縮に加え品質向上も考慮して、工程上クリティカルとなる P1・P2 橋脚にハーフプレキャスト部材を用いた橋脚の急速施工法を採用した。また、上部工においても波形鋼板ウェブ構造を採用することで上部構造を軽量化して橋脚断面寸法の縮小化を図るとともに、波形鋼板上に架設作業車を設置して複数ブロックを同時に施工する特殊架設工法を採用し、上下工施工において生産性向上を実現した。

下部工施工における急速施工の取組み

(1) ハーフプレキャスト部材を用いた橋脚の急速施工（SPER 施工）

SPER 工法とは、工場にて製作したハーフプレキャスト部材（以下、PCa 部材と記す）を用いて橋脚を構築する急速施工方法である。PCa 部材は、帯鉄筋・中間帯鉄筋を PCa 部材にあらかじめ埋設した構造とすることで、現場における型枠と鉄筋配置作業を同時に削減することを目的としている。PCa 部材イメージ図と施工概念図を示す。

施工方法としては、主鉄筋の組立後にクレーンを用いて PCa 部材を建込み、内部にコンクリートを打込み橋脚断面を構築する。現場における鉄筋・型枠組み立て作業を大幅に省力化することが可能となり、工程短縮を図ることができる。



(2) 下部工施工における工程短縮効果

橋脚施工に PCa 部材を適用することで、施工の合理化・省力化を図り急速施工を実現した。1 サイクル (2 リフト 12.0m) に要する施工日数としては、SPER 工法では最短で実働 14 日となり、従来工法による実働 23 日に対し、約 40% の短縮を実現した。P2 橋脚の実施工期間としては、約 7.3 ヶ月 (冬季休止期間を除く) である。サイクル工程について、従来工法と本工事の SPER 工法による工程比較表を示す。なお、従来工法については、同種施工実績より試算したものである。



Pca 部材架設状況

工程比較表

		1 サイクル																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
従来工法	足場組立	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	鉄筋組立(主鉄筋)																							
	鉄筋組立(帯鉄筋)																							
	型枠組立																							
	コンクリート打設																							
		1 リフト											2 リフト											

		1 サイクル													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SPER 工法	足場組立	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	鉄筋組立(主鉄筋)														
	PCa部材運込														
	型枠組立														
		1 リフト							2 リフト						
		中詰めコンクリート打設													

上部工施工における急速施工の取組み

(1) Rap-Con工法による上部工施工

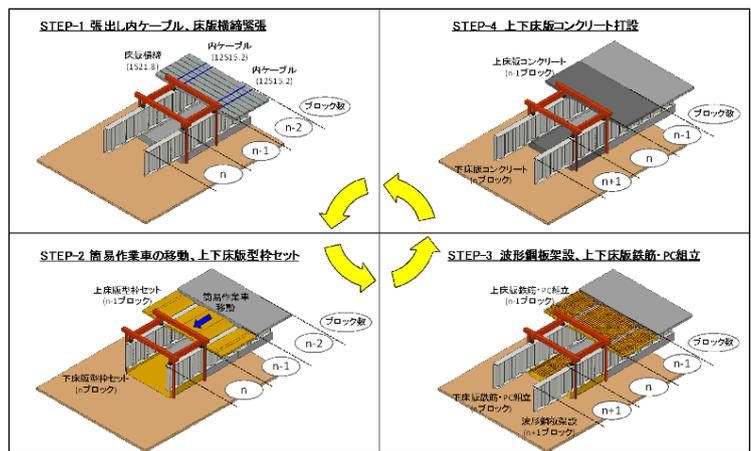
上部構造は波形鋼板ウェブ構造として軽量化を図り、橋脚断面、基礎形状の縮小化を実現している。架設工法にRap-Con工法を採用して橋脚工と同様に急速施工に取り組んだ。Rap-Con工法とは、波形鋼板上に架設作業車を設置して、複数ブロックで同時に施工し効率化を図る工法である。本工法で実績の多いブロック長は4.8mであり、P2およびP3張出では4.8mブロックとしたが、P1張出しではさらなる工程短縮を目的として5.6mブロックを採用した。

架設作業車の組立てスペースより柱頭部長さは10.4mと必要最低限の大きさとして、高所に設置する柱頭部ブラケット鋼材重量を低減し、工程短縮を図った。

P1張出し施工においては5.6mの大型ブロックを採用したため、大型の架設作業車上には積雪が残らないよう傾斜を設けた屋根を設置し、雪荷重が作用しない構造として、作業車や桁への負担を軽減するとともに除雪作業の時間が低減できるよう配慮した。

(2) 上部工施工における工程短縮効果

Rap-Con 工法を適用したことで、P2 および P3 張出しの 4.8m ブロック、P1 張出しの 5.6m ブロックにおいて、ともに実働 9 日 / ブロックを達成し、急速施工による工期短縮を実現することができた。ブロック長の大型化によるブロック数の低減効果と合わせ、約 25% の工程短縮を実現した。



Rap-Con 工法概要図



P1 張出し架設作業車

生産性向上事例集～土木編～は、「2018 生産性向上事例集」および「2019 生産性向上事例集」から、土木分野の事例のみを抜粋し、更に事例を追加して再編集した。

生産性向上事例集～土木編～

2019年4月発行
一般社団法人日本建設業連合会 土木本部

無断転載を禁じます
©一般社団法人日本建設業連合会

