

モデル橋梁から考える生産性の向上

～PC 橋梁工事における「省力化」「働き方改革」の実現に向けて～

令和 2 年 10 月

SEE 協会
土木分科会

まえがき

本分科会では、活動テーマを分科会メンバーが決めて活動を行っていますが、今回の活動で着目したのは、PC 橋の生産性向上です。生産性向上は、「人手不足問題の解消」や「働き方改革」にとって必須です。建設業においては、国土交通省が生産性向上を目的として「i-Construction」を推進しており、30 年近く変わらなかった土工の生産性が、近年向上しています。PC 橋の建設現場においても、CIM を活用した施工検討、画像処理技術を活用した出来形計測など「i-Construction」の取り組みが始まっています。

また、建設各社はロボットや IoT 技術などの建設業への展開を積極的に図っており、急速に建設現場の生産性を高める動きが活発化しています。

このような背景から本分科会では、先述のとおり PC 橋の生産性向上を活動テーマとしましたが、活動内容は本分科会の活動目的に沿うように工夫しました。分科会メンバーを 3 班に分け、各班がモデル橋梁を設定して調査・討議・試算を行い、生産性向上に関する各人の知識・意識を高め、個人資質の向上を図りました。「私たちが生産性向上にどのように取り組むか」を討議し、各自の業務に本活動が活かせるようにしました。

また、本活動の一環として、他業界の生産性に関する知識や見聞を広めること、ロボットの建設業活用に関するヒントを得ることを目的とした工場見学会を実施しました。訪れたのは、産業用ロボットの製造において、世界トップクラスの企業であるファナック株式会社の本社工場です。本見学会では、産業用ロボットに関する知識を得ると同時に、建設業と製造業の生産性の差を痛切に感じました。

ファナック株式会社の皆様には快く工場見学を受け入れていただき、丁寧な説明をいただきました。厚く御礼申し上げます。

最後になりますが、協会加盟各社から参加いただいた分科会メンバーの方々には、多忙な業務の時間を割いて、資料収集や調査、分科会への参加、報告書の作成と本活動に労力を注いでいただきました。改めて、感謝の意を表します。

令和 2 年 3 月
SEEE 協会土木分科会
酒井 崇行

会社名	氏 名	所 属	
		[活動テーマ決定]	[テーマに沿った活動] [考察・まとめ]
分科会長			
オリエンタル白石株式会社	酒井 崇行	-	-
副分科会長			
清水建設株式会社	栃木 謙一（～H30年3月）	-	-
飛島建設株式会社	北 倫彦（H30年4月～）	A班	-
分科会委員			
株式会社IHIインフラ建設	田中 慎也	A班	A 班
極東興和株式会社	高橋 弥成	A班	
清水建設株式会社	中島 穰（H30年4月～R1年6月）	-	
	今井 遥平（R1年7月～）	-	
日本高圧コンクリート株式会社	小野塚豊昭	A班	
株式会社日本ピーエス	北山 良（～H29年5月）	B班	
	竹内 鋭達（H29年6月～H31年3月）	B班	
	前川 和洋（H31年4月～）	-	
株式会社熊谷組	神田 裕史	A班	
昭和コンクリート工業株式会社	福地 広基（～H29年8月）	A班	B 班
	小塩 克友（H29年9月～）	A班	
鉄建建設株式会社	磯部 善隆（～H29年8月）	B班	
	大野 俊平（H29年9月～）	B班	
株式会社ピーエス三菱	笛木 亮	B班	
株式会社富士ピー・エス	早川 鋭（～R1年7月）	B班	
	渡辺 絵美（R1年8月～）	-	
株式会社銭高組	佐藤 千鶴	B班	
株式会社大林組	天野 寿宣（～H29年9月）	C班	
	釘宮 晃一（H29年10月～）	C班	
ドーピー建設工業株式会社	村井 弘恭	C班	C 班
佐藤工業株式会社	勝見 哲史	B班	
三井住友建設株式会社	桑野 昌晴（～H29年6月）	C班	
	水田 武利（H29年7月～）	C班	
鹿島建設株式会社	盛田 行彦（～H31年4月）	C班	
	柑本慎一郎（R1年5月～）	-	
川田建設株式会社	吉松 秀和	C班	
株式会社安部日鋼工業	大木 信洋（～H30年4月）	C班	
	堀内 雄太（H30年5月～）	C班	
大日本土木株式会社	藤田 徳昭（R1年6月～）	-	
株式会社エスイー	森谷 誠（H29年8月～）	C班	
事務局			
株式会社エスイー	東 旭	-	-

モデル橋梁から考える生産性の向上
～P C 橋工事における「省力化」「働き方改革」の実現に向けて～

目 次

まえがき

第 1 章 活動概要

- 1. 1 活動内容 1
- 1. 2 報告書概要 3

第 2 章 モデル橋梁における生産性の向上

- 2. 1 概要 5
- 2. 2 モデル橋梁における生産性の向上 7
 - 2. 2. 1 3 径間連続ラーメン箱桁橋（張出し架設工法）A 班 7
 - (1) モデル橋梁構造と基本条件
 - (2) 課題の抽出と解決案
 - (3) ケーススタディ
 - (4) 期待される技術
 - (5) 考察
 - 2. 2. 2 4 径間連続 P C 中空床版橋（固定支保工式架設工法）B 班 37
 - (1) モデル橋梁構造と基本条件
 - (2) 課題の抽出と解決案
 - (3) ケーススタディ
 - (4) 期待される技術
 - (5) 考察
 - 2. 2. 3 4 径間連続 P C 箱桁橋（固定支保工式架設工法）C 班 75
 - (1) モデル橋梁構造と基本条件
 - (2) 課題の抽出と解決案
 - (3) ケーススタディ
 - (4) 期待される技術
 - (5) 考察
- 2. 3 製造業から学ぶ生産性（ファナック工場見学） 107

第 3 章 私たちができること

- 3. 1 本活動を終えての感想 114
- 3. 2 生産性向上にどのように私たちが取組むか 121

あとがき

第 1 章 活動概要

1. 1 活動内容

(1) 活動テーマ選定（第 52～58 回分科会）

当分科会は、メンバーが興味のあるテーマを持ち寄り、分科会全体で取り組みたいテーマを選定して活動する進め方をしている。

今回も第 53 回分科会（2017 年 6 月）に行った活動テーマアンケートにより、業界内で高い関心もたれている「生産性向上」、「省力化」、「災害対策」、「維持管理」の他、「PC 技術」や「歴史」に関するもの等、多岐にわたるテーマ候補が寄せられた。

その後 4 回の分科会を費やし、情報の豊富さ、成果品としたときの有用性、全メンバーが均等に関われるかといった視点を考慮して討議を行い、①複数の分野を含んで話題が豊富であり展開し易いこと、②モデル橋梁への適用性検討により橋梁分野で有用な資料となりうること、かつ③当分科会の独自性も出せること等の理由から、「生産性向上」をテーマとし活動することが決定した。

なお、ここで取り扱う「生産性向上」は、「省力化」や「働き方改革」の要素を含む幅広いものである。

(2) テーマに沿った活動内容

根幹となったのは、モデル橋梁を設定し、生産性向上が望まれる問題点（改善案）を抽出し、改善策となる技術の資料収集を行って、モデル橋梁への適用検討を実施する 4 段階の活動である。個々の活動の要点については以下に列記する。これらの活動は、分科会全体を 3 班に分け、以後班単位で資料収集や検討を並行して進められた。

次頁図 1-1 に活動工程も示すので、参照願いたい。

① モデル橋梁の選定（第 58～59 回分科会）

各班が異なる構造形式、施工条件の橋梁を選定し、それぞれの橋梁について検討の前提となる施工箇所や環境条件を設定した。

② 問題点の抽出と共有（第 60～62 回分科会）

選定したモデル橋梁に対し、「苦渋作業」、「危険作業」、「工程に影響を与える作業」、「その他改善したい作業」など生産性向上に関する問題点（改善案）を抽出、班内で情報共有を行うとともに、次の資料収集に向けた着目点、方向性の整理を行った。

③ 改善策となる技術の資料収集と共有（第 61～66 回分科会）

抽出した問題点に対し、生産性向上の観点で改善策となる技術と関連する資料を収集し、班内で情報共有を行った。資料は HP や文献調査の他、セミナーや展示会への参加を通じて収集し、また土木業界で実用化された技術に限らず、他産業や研究段階の技術も含め広く収集した。

④ モデル橋梁への適用検討（第 64～70 回分科会）

改善策となる技術を整理するとともに、問題点として挙げたものの中から特に検討したい技術を選定し、モデル橋梁へ適用した場合の効果を具体的・数値的に算出するとともに、留意点の抽出も含めたケーススタディを実施して、技術・施工面から踏み込んだ検討を行った。

さらに、解決したいが解決策が見つからない問題に対し、解決の可能性がある他産業や研究途上の技術について、自由な発想で調査・検討を行った。

活動期間の途中には、解決策を探るためのヒントを得る機会として、組み立てロボットによる省力化が進んでいる企業（株式会社ファナック）の工場見学を実施した。

また、各班が実施した適用検討結果について他班と意見交換を実施し、生産性をより向上させるアイデアや留意点を追加し、成果品の有用性を向上させる取り組みも行っている。

<活動工程>

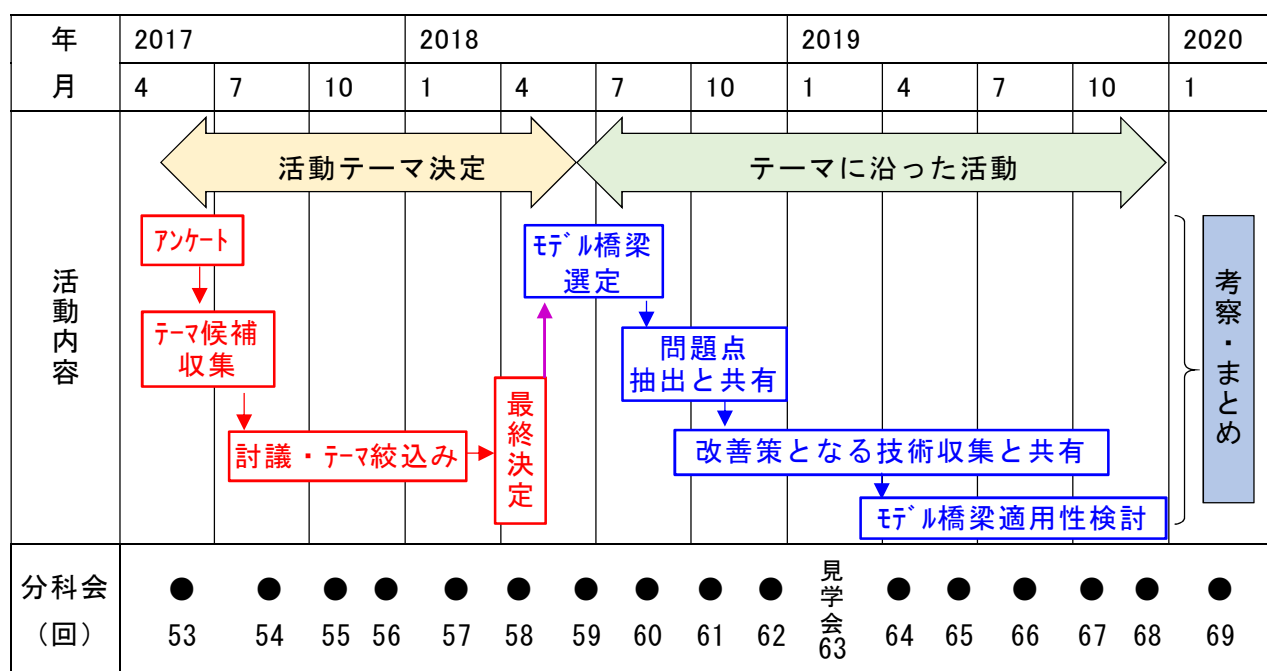


図 1-1 活動工程

1. 2 報告書概要

活動概要は本章に示すが、1. 1に記載の「テーマに沿った活動」の具体的成果は第2章に示した。

第2章2. 1「概要」では冒頭に生産性向上の定義と、本活動で考える生産性向上の範囲について示した。つづいて、資料の調査方法や技術の適用性検討を行う上で設定したルールについて、具体的に記載した。

以上を前提条件として活動を行った成果は2. 2「モデル橋梁における生産性の向上」に記載した。内容は班毎に選定したモデル橋梁と、課題抽出、解決策の収集・適用検討、ケーススタディ実施、期待される技術の調査結果を記載した。

ここまでの調査・検討成果を踏まえ、生産性向上の可能性、および生産性向上によって創出される働き方改革の実現性について、班内・分科会内で深くディスカッションした考察を記載した。

成果の記載方法は、成果品配布後に読者が容易に理解できることにも配慮し、表1-1に示すまとめ方としている。

表 1-1 第2章の活動成果とまとめ方

成果品	まとめ方
モデル橋梁	検討条件を明記した橋梁一般図
課題の抽出と解決案	課題と解決案が対応し、適用箇所や工種によって区分された一覧表
ケーススタディ	解決策である生産性向上技術の概要、改善効果について従来技術との比較を行った結果を記載し、留意点や将来性についても言及した調査票
期待される技術	フリーフォーマットの紹介事例
考察	ディスカッション内容の記録文書

また、工場見学内容、および見学先企業の技術者と意見交換、質疑応答を行った結果については、第2章2. 3「工場見学報告」に示す。

成果品作成後は、本活動を振り返っての感想や、生産性向上に今後どう取り組むべきか、各メンバーが思案する機会を設けた。思案した内容については第3章に記載した。

<ケーススタディについて>

ケーススタディ内の「モデル橋梁における改善効果の比較」には、各担当委員の試算結果にもとづく生産性向上の効果を具体的数値で示している。

試算は技術提供元が提示する数値や積算資料等の公的な根拠等を参考に、各委員の経験も踏まえて、なるべく効果を正確に示せる努力を行っている。

ただし、本試算はモデル橋梁を設定し限られた想定条件下で、担当委員の創造力を加味したが、試算結果に対し技術提供元や第三者による検証は行っていない。実務に

において本報告書を参考にしようとする際は、本試算結果をそのまま採用することはせず、別途根拠資料や情報を入手し、個別の条件に対する検討を十分に行っていただきたい。

第2章 モデル橋梁における生産性の向上

2.1 概要

(1) 「生産性向上」とは

「生産性」は、投入資源（インプット）と産出（アウトプット）の比率を意味している。

$$\text{生産性} = \frac{\text{産出(Output)}}{\text{投入資源(Input)}} \quad \dots\dots\dots \text{式 2-1}$$

「生産性向上」はこの比率を上げることである。これを橋梁工事に当てはめると、一例として、投入した人工数を変えずにより短時間で工事を完了することと、人工数を減らして工事を完了させることになる。

本活動では、モデル橋梁として選定した橋梁工事に対し、「工程短縮」や「省力化」を求めるだけでなく、「危険作業」、「苦渋作業」などにも視点を当てて、従来と比べてより安全な作業環境を実現することや、苦渋作業を減らすことなども検討対象としている。また、現場作業のみならず、職員の検査や書類作成なども含めて、新技術（①現段階の新技術、②将来期待する技術）を採用した場合、どこまで「生産性向上」できるのかについて検討を行い、その結果をまとめた。

(2) モデル橋梁の選定及び基本条件の設定

生産性の改善余地が大きい場所打ちの中で代表的な橋梁形式と架設工法から、各班それぞれ1つずつ検討対象とするモデル橋梁を選定した（図 2-1 参照）。また、各班がある程度共通条件のもと検討を行えるように基本的な条件を設定した。

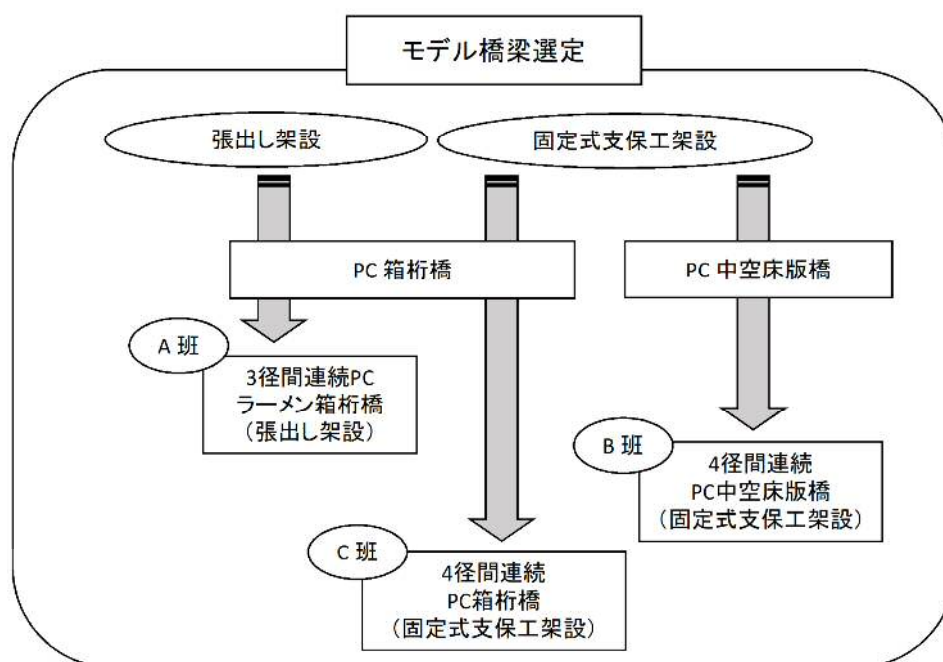


図 2-1 モデル橋梁選定

【モデル橋梁】

- A 班： 3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋（張出し架設工法）
- B 班： 4 径間連続 PC 中空床版橋（固定式支保工架設工法）
- C 班： 4 径間連続 PC 箱桁橋（固定式支保工架設工法）

【基本条件】

- ・ 施工範囲は脚頭部からの上部工施工範囲とし、起工測量を含む工事一式の範囲とする。
- ・ 検討範囲は新設をベースに限定するが、将来の修繕・更新のために行った補修補強設計の工夫などは検討範囲内とする。
- ・ 採用できる新技術に関しては、基本は既存技術（他業種可）とする。根拠付けできる新技術は、実用化までに至らなくても採用できる。
- ・ 「省力化」に関する発想の自由度を制限しないためコストの増減について考えない。
- ・ PCa 化は条件付きで検討してもよい。
- ・ 休日は週休 2 日と設定する。
- ・ 省力化を考える範囲は、工事を行う上で生じる全ての作業とする（現場職員が行う施工計画や施工管理も含む）。
- ・ 省力化の定義は、労働力を節約することに限らず、機械設備によって特殊・危険な作業や、単純な作業および苦渋な作業などを無くすことも含める。
- ・ 省力化の評価に対しては厳密さを求めない。なるべく自由な発想で検討する。

（3）資料の調査方法について

「生産性向上」に関する新技術の調査及び資料収集は、以下の情報源より調査を行った。

【建設業界】

- ・ インターネットによる調査
- ・ 関連書籍/雑誌による調査
- ・ 展示会/セミナーに参加

【他業界】

- ・ インターネットによる調査
- ・ 関連書籍/雑誌による調査
- ・ 展示会/セミナーに参加
- ・ 工場見学による調査

2. 2 モデル橋梁における生産性の向上

2. 2. 1 3 径間連続ラーメン箱桁橋（張出し架設工法）A 班

（1）モデル橋梁構造と基本条件

モデル橋梁の基本条件を表 2-1 に示す。工事全体のフローチャートを図 2-2，モデル橋梁の一般図を図 2-3 に示す。

施工方法は移動作業車を用いた各橋脚（P1, P2）からの張出し架設工法にて行う。まず，各橋脚の柱頭部施工はブラケット支保工で施工する。各柱頭部完成後，移動作業車を起点側，終点側にそれぞれ 1 基ずつ組立て，主桁ブロックを順次製作しながら張出し架設を行う。主桁ブロックのコンクリートは左右のブロックを同時に打設して，プレストレス導入を行う。側径間部分に関しては橋台側をブラケット式支保工，橋脚側を既設桁から吊り下げた吊り支保工で施工する。また，中央閉合部分は P2 橋脚から張出した移動作業車により施工を行う。その後，外ケーブル緊張を行い，橋梁附属物工の施工を行う。

表 2-1 A 班モデル橋梁設計条件

橋長		L=215.600m
有効幅員		B=1.75+2@3.5+1.75=10.5m（全幅員 11.15m）
平面線形		R=∞
斜角		A1, A2：θ =R75° 0' 0", P1, P2：θ =90° 0' 0"
縦断勾配		LEVEL
横断勾配		i=2.000%（→）
形式	上部工	PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋
	下部工	橋台：（A1）ラーメン式橋台，（A2）逆 T 式橋台， 橋脚：中空式橋脚
	基礎	橋台：深礎杭，橋脚：大口径深礎杭
架設工法		張出し架設工法
塩害区分		散布 S 区分（凍結防止剤散布）
その他条件		①積雪寒冷地（冬期施工あり）
		②塩害地域
		③河川有り
		④ヤードは十分に広い
		⑤部分プレキャストは使用しない（橋体のみ）
		⑥森林地域
		⑦ブロック数は変更しない
		⑧現場事務所～発注者事務所の所要時間：車で 40 分

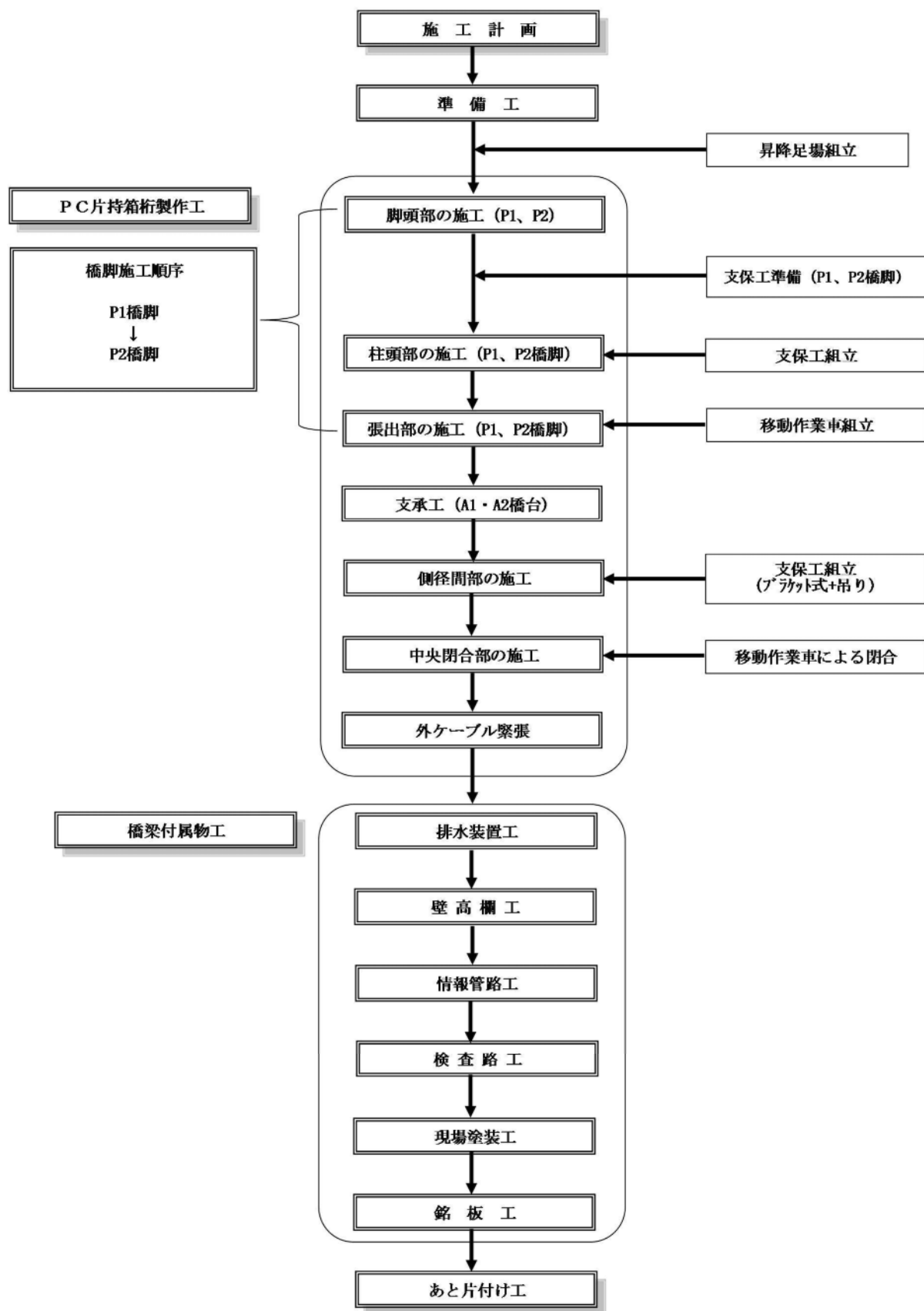
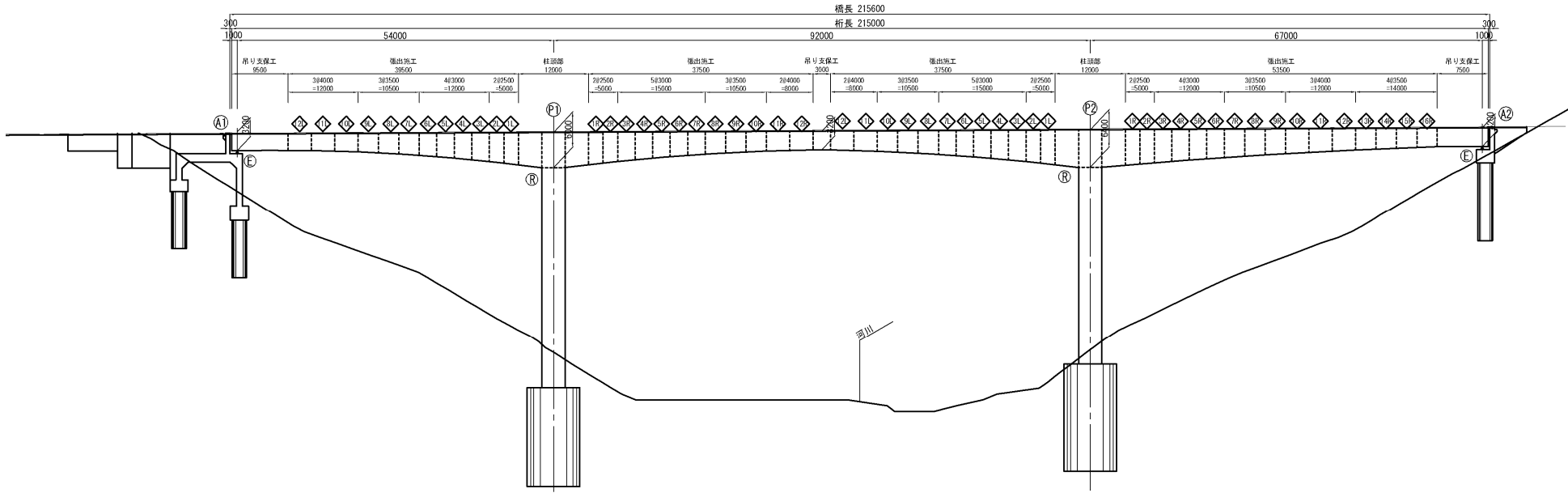


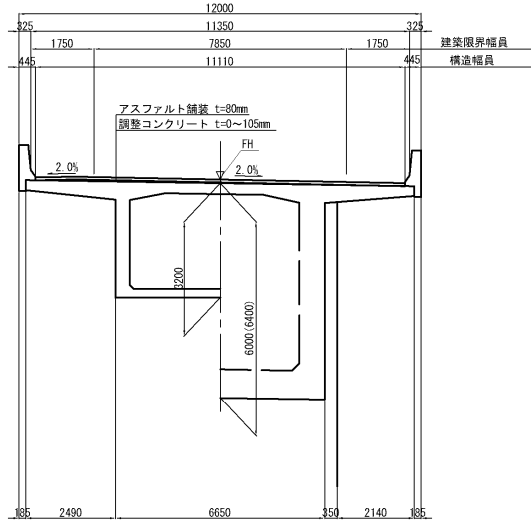
図 2-2 モデル橋梁における工事全体のフローチャート

A 班モデル橋梁

側 面 図 $S=1:5$



標準断面図 S=1:



平面图 S=1:5

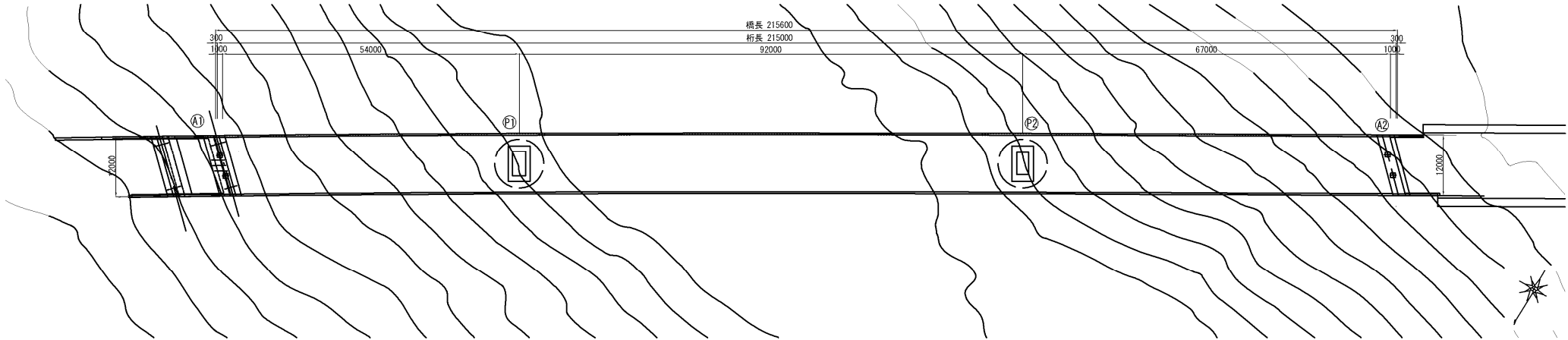


図 2-3 A 班モデル橋梁一般図

(2) 課題の抽出と解決案

モデル橋梁の施工において、生産性を考える上での問題点や課題の抽出結果、および解決策を一覧にまとめ記載する。

<課題の抽出と解決案一覧表について（全班共通）>

本一覧表では、課題に対する解決策を示すとともに、問題解決に対する期待度を記載した。この問題解決に対する期待度や各委員の関心の高さも踏まえた上で、抽出した課題と解決策の中からケーススタディの対象とするもの、今後期待される技術をピックアップし、次節以降で詳細な検討を実施した。

なお、一覧表にある「ケーススタディ」と「今後期待される技術」の欄は、報告書本文に該当する番号を記載している。

モデル橋梁施工に伴う問題点（課題）と解決案一覧表

工種	区分（作業）	対象部位						問題種別		問題点（課題）	問題解決期待度	解決策	ケーススタディ	今後期待される技術
		脚	柱	張	側	中	壁							
準備工	書類作成	○	○	○	○	○	○	工	苦	施工計画の作成に多くの時間を要する	中	施工計画自動作成自動化　／　施工計画作成支援ソフト		
	設計照査	○	○	○	○	○	○	工		長時間を要する設計計算書と図面の整合性の確認作業	中	設計照査の自動化		B
	起工測量							工	危	架橋地点において立木（森林）などの支障物が多くあった場合の現地測量、不安定な足場での測量	中	UAV（ドローンレーザ）を使用した起工測量		
仮設工	昇降設備	○						危	苦	高所作業、EV設置までの間の昇降階段の昇り降り、段数が増えた時の昇降	小	吊り上げるだけで立ち上がる大規模工事用ユニット支保工		
鉄筋工	組立	○	○	○	○	○	○	工	苦	長時間にわたる中腰での鉄筋組立作業	大	自律型鉄筋結束ロボットによる鉄筋結束支援	①	
					○			工	危	長尺鉄筋や太径鉄筋の取り扱い	中	ラクラクロールマット工法		
		○	○					危		クレーン0Pから視認が困難な鉄筋組立合番作業	小	ウェアラブルカメラを利用した双方向通信		
		○	○	○				工		フック付きの鉄筋の組立簡略化	中	機械式定着「Tヘッド工法鉄筋」 プレート定着型せん断補強鉄筋「Head-bar」		
				○		○		危		ウェブ鉄筋組立時の上床版の開口部	小	-		
		○	○	○				他		鉄筋の組立順序検討の簡素化	中	-		
				○	○	○		危	苦	クレーン作業半径外への鉄筋運搬	中	セルロースナノファイバーを利用した鋼材の軽量化		A
				○				工	苦	鉄筋組立作業の省力化	大	鉄筋組立作業の完全自動化		F
				○				危		移動作業車内の障害物による死角	中	移動作業車内の見える化		C
		○	○	○	○	○	○	工	苦	担い手不足や高齢化	中	腰タイプ作業支援用の装着型サイボークを用いた施工		G
	管理			○	○	○		管	苦	鉄筋の墨出し作業の省力化	中	設備機器の据付工事における墨出し作業を自動化するロボットシステム		
		○	○	○	○	○	○	管	工	配筋検査時間の短縮 立会時間の変更となった場合の対応が困難	大	ウェアラブルを用いた現場立会検査の実施	②	
												タブレットで撮影した画像と設計データを自動比較		
												ステレオカメラを活用した配筋検査		
型枠工	組立	○	○	○	○	○	○	苦		建込時の目地合わせ、セパレーターの固定作業の省力化	小	-		
		○						危		脚頭部底版型枠組立時のリスク回避（中空橋脚の場合）	大	-		
		○	○	○	○	○	○	苦		型枠建込の位置出し（墨出し）作業の省力化	大	ARを利用した型枠の位置出し	③	
				○				危		移動作業車内の障害物による死角	中	移動作業車内の見える化		(C)
		○	○	○	○	○	○	工	苦	担い手不足や高齢化	中	腰タイプ作業支援用の装着型サイボークを用いた施工		(G)
	組立（管理）				○		○	工	管	支保工・型枠組立て時の測量作業（高さ管理）の省力化	小	-		
		○	○	○	○	○	○	危	管	高所での検測時におけるリスク回避	中	-		
	管理	○	○	○	○	○	○	管	工	型枠検査時間の短縮	大	ウェアラブルカメラを利用した検査		

< 部位凡例 >						
脚：脚頭部	柱：柱頭部	張：張出し施工部	側：側径間部	中：中央閉合部	壁：壁高欄部	

< 問題種別凡例 >				
工程短縮（省力化）したい作業	管理（品質、出来形、安全等）の省力化を図りたい作業	危険作業	苦渋作業	その他

工種	区分（作業）	対象部位						問題 種別		問題点（課題）	問題 解決 期待度	解決策	ケース スタディ	今後期待 される 技術
		脚	柱	張	側	中	壁							
コン ク リ ー ト 工	打設	○	○	○	○	○		工	苦	左官仕上げの省力化	大	ロボットによる左官仕上げ（T-iROBO Slab Finisher）		
		○	○	○	○	○	○	危	苦	鉄筋内や鉄筋上での締固め作業、締固め役の長時間振動	大	次世代コードレス高周波バイブレータ（ECVシリーズ）使用	④	
				○				危		移動作業車内の障害物による死角	中	移動作業車内の見える化		(C)
		○	○	○	○	○	○	工	危	コンクリート打設作業の省力化	大	3Dプリンタを用いたコンクリート打設の無人化施工		D
		○	○	○	○	○	○	工	苦	担い手不足や高齢化	中	腰タイプ作業支援用の装着型サイボーグを用いた施工		(G)
	養生	○	○					管	他	大規模クーリング設備の設置、循環水の水処理	小	注水併用エアクーリング		
				○				工	苦	寒冷地での養生作業、養生作業による休日出勤	中	採光防音パネルによる囲いと温風ヒーターによる吸熱養生		
	管理	○	○	○	○	○	○	管		打設時品質管理員の常駐	大	運搬時生コン性状確認システム（プローブシステム）使用	⑤	
				○				管		分かりやすい表面仕上げの修正作業	大	AR-表面仕上げシステム		
		○	○	○	○	○	○	管		品質管理の省力化	小	連続RIコンクリート水分計		
		○	○	○	○	○	○	管	工	出来形検査時間の短縮	大	ウェアラブルカメラを利用した検査		
P C 工	緊張		○	○	○	○		危	他	緊張作業・管理の自動化ならびに簡素化（省力化）	大	自動緊張管理システム_SEEE、安部日鋼工業		
				○	○	○		苦		緊張ジャッキの運搬作業の省力化	小	-		
				○	○	○		苦		ケーブル挿入作業の省力化	小	セルロースナノファイバーを利用した鋼材の軽量化		(A)
				○		○		他		張出部目地の開き防止	中	シェアラグ鋼材の配置		
				○				危		移動作業車内の障害物による死角	中	移動作業車内の見える化		(C)
	グラウト		○	○	○	○		苦	工	グラウト作業の省力化	大	グラウト注入管理システム_SEEE		
				○				危		移動作業車内の障害物による死角	中	移動作業車内の見える化		(C)
移 動 作 業 車	組立・解体			○				危	他	高所での移動作業車の解体作業時のリスク回避	大	CIMにより可視化した施工ステップを用いた架設シミュレーション		
	移動			○				危	他	ワーゲンのリフトアップ作業時のリスク回避	大	-		
	測量	○		○				苦	管	橋梁や橋脚の倒れなどの変位計測の省力化	中	クラウド型GPS変位計測システム、EagleEye		
				○				苦	管	張出し施工における断面形状の出来形寸法計測の省力化	中	3Dレーザースキャナーを用いた出来形検測、三井住友建設	⑥	
支 保 工	組立・解体		○		○	○		危		重量部材の組立・解体作業時のリスク回避	大	CIMにより可視化した施工ステップを用いた架設シミュレーション		
					○			危		斜面における組立時の作業員の転落、部材の転倒防止	大	-		
					○			苦	工	仮設資材の運搬・組立作業の効率化、省人化	大	5G技術を活用し自動運転、遠隔操作により省力化		E
支 承 工	支承設置工				○			工		支承アンカーと上部工鉄筋、PC鋼材との干渉	小	CIM活用による支承アンカー、上部工鉄筋、PC鋼材位置の事前確認と位置調整		
	無収縮 モルタル				○			管		補強鉄筋配置とかぶり不足によるクラック発生	中	非鉄系格子組補強材の使用		
					○			工		冬期施工時の養生	中	-		
伸 縮 装 置	伸縮装置組立				○			工		伸縮装置設置用アンカー筋、上部工鉄筋、伸縮装置の鋼材との干渉	小	CIM活用による鋼材同士の事前干渉確認と位置調整		
					○			工		伸縮装置の固定	小	アンカー筋、上部工鉄筋、伸縮装置の鋼材を固定にスポット溶接を採用		
	あと打ち コンクリート				○			管		耐グレーダー型伸縮装置の誘導板隅角部を起点とするクラック発生	小	炭素繊維シート（はく落防止材）をコンクリート打込み時に設置		
					○			工		冬期施工時の養生	中	-		

< 部位凡例 >

脚：脚頭部	柱：柱頭部	張：張出し施工部	側：側径間部	中：中央閉合部	壁：壁高欄部
-------	-------	----------	--------	---------	--------

< 問題種別凡例 >

工程短縮（省力化）したい作業	管理（品質、出来形、安全等） の省力化を図りたい作業	危険作業	苦渋作業	その他
----------------	-------------------------------	------	------	-----

(3) ケーススタディ

ケーススタディの一覧を表 2-2 に示す。その詳細結果は次頁より、一覧表に示したケーススタディの番号順に示す。

表 2-2 A 班ケーススタディ一覧

番号	ケーススタディ	
①	課題	長時間にわたる中腰での鉄筋組立作業
	解決案	自律型鉄筋結束ロボットによる鉄筋結束支援
②	課題	立会時間に変更となった場合の対応が困難
	解決案	ウェアラブルを用いた現場立会検査の実施
③	課題	型枠建込の位置出し（墨出し）作業の省力化
	解決案	AR を利用した型枠の位置出し
④	課題	鉄筋内や鉄筋上での締固め作業，締固め役の長時間振動
	解決案	次世代コードレス高周波バイブレータ（ECV シリーズ）使用
⑤	課題	打設時品質管理員の常駐
	解決案	運搬時生コン性状確認システム（プローブシステム）使用
⑥	課題	張出し施工における断面形状の出来形寸法計測の省力化
	解決案	3D レーザースキャナーを用いた出来形検測

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
鉄筋工	鉄筋工	組立	工程短縮・苦渋作業	大

問題点（課題）	長時間にわたる中腰での鉄筋組立作業
解決策	自律型鉄筋結束ロボットによる鉄筋結束支援

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
作業員による結束作業 従来の鉄筋結束作業 - 単純作業の繰り返し - 鉄筋の交差部をひたすら結束する単純作業 - 作業範囲は非常に広範囲 - 作業員の負担大 - 中腰姿勢の作業のため作業員への負担が大きい   図-1 自動結束ロボット作業状況¹⁾ - 作業員による結束作業は、中腰姿勢による単純作業の繰り返しとなるため、作業員の腰への負担が大きい。 - 屋外の高温・寒冷な現場環境下での作業となる場合、作業効率の低下や身体的負担の増大が懸念される。 - 作業員による結束作業は、500m²の鉄筋結束を10人/日で結束を行う(50m²/人・日)。ただし、作業員の技能により結束面積、結束強度に差が生ずることがある。	自律型鉄筋結束ロボットによる結束作業  写真-1 自動結束ロボット作業状況²⁾ - 自律型鉄筋結束ロボット「T-iROBO Rebar」（以下、自動結束ロボット）は、レーザーセンサーにより、鉄筋交差部の検出と周辺障害物の検知を行い、広い作業範囲の鉄筋の自動結束が可能となる。 - 単純な配筋の結束作業を自動結束ロボット、複雑な配筋の結束作業を作業員とする作業分担が可能となる。 - 結束作業は、専用の機器を使用することから、結束は均一の結束品質・結束面積を維持することができる。 - 自動結束ロボットを使用することで、500m²の鉄筋結束を1台/日で、結束することが可能となる。さらに、ロボットのため、24時間稼働が可能である。

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

- ・検討対象: 上部工本体構造(柱頭部, 張出施工部, 側径間施工部, 中央閉合)
- ・鉄筋結束面積: 上床版・下床版・ウェブに分割して面積を算出(結束面積は2段分)
- ・比較方法: 人工

■効果試算結果

- ・従来技術(作業員による結束作業: 50m²/人)

柱頭部 P1【下床版】4人 【上床版】6人 【ウェブ】6人

P2【下床版】4人 【上床版】6人 【ウェブ】7人

張出施工部: 全 56BL 集計結果(P1L・R-1BL~12BL, P2L-1BL~12BL, P2R-1BL~16BL)

【下床版】56人 【上床版】92人 【ウェブ】66人

側径間 P1【下床版】3人 【上床版】5人 【ウェブ】3人

P2【下床版】2人 【上床版】4人 【ウェブ】2人

中央閉合 【下床版】1人 【上床版】2人 【ウェブ】1人

小 計 【下床版】70人 【上床版】115人 【ウェブ】85人

合 計 270人

- ・生産性向上技術(自動結束ロボット: 500m²/台)

※鉛直面(ウェブ)および床版配筋下段の差筋箇所(上床版: 13m², 下床版: 24m²)は使用不可

柱頭部 P1【下床版】1台 【上床版】1台 【ウェブ】6人

P2【下床版】1台 【上床版】1台 【ウェブ】7人

張出施工部: 全 56BL 集計結果(P1L・R-1BL~12BL, P2L-1BL~12BL, P2R-1BL~16BL)

【下床版】28台, 28人 【上床版】28台, 28人 【ウェブ】66人

側径間 P1【下床版】1台, 1人 【上床版】1台, 1人 【ウェブ】3人

P2【下床版】1台, 1人 【上床版】1台, 1人 【ウェブ】2人

中央閉合 【下床版】1台, 1人 【上床版】1台, 1人 【ウェブ】1人

小 計 【下床版】33台, 31人 【上床版】33台, 31人 【ウェブ】85人

合 計 66台, 147人 (46%削減)

その他(考察・留意点・将来性等)

鉄筋の結束作業は, 鉄筋工事のうち約 20%を占めているため, この作業をロボット化することで, 約 9%生産性が向上する。ロボット化による結束作業は, 技能労働者が行っている単純作業を削減するだけでなく, 深夜作業や休憩時間を含めた連続作業が可能となるため, 省人化の効果が大きいと考える。

今後の課題としては以下が挙げられる。

- ①バッテリー駆動のため, 連続稼働時間が制限される(現在 5 時間程度であるため, より長時間の連続稼働が可能となれば, より一層の省力化が図れる)。
- ②鉛直面の結束に対応できていない(鉛直面の結束に対応することにより, 脚頭部・柱頭部・ウェブ等の結束作業も省力化が可能となる)。
- ③小型化によって, 2 段組みの下段の組立(差し筋が出ている端部)も可能となる。

出典・参考資料

- 1) 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センターウェブサイト: プレス発表/2017 年 10 月 16 日/配布資料

https://www.furo.org/img/works/20171016t_irobo_rebar.pdf

- 2) 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センターウェブサイト: ムービーギャラリー/実験の様子

https://www.furo.org/ja/works/t_irobo_rebar/movie.html

ケーススタディ A 班② モデル橋梁 3 径間連続 PC ラーメン箱桁橋

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
鉄筋工, 型枠工, コンクリート工	脚頭部, 柱頭部, 張出部, 側径間部, 中央閉合部, 壁高欄部	管理	管理の省力化 工程短縮	大

問題点（課題）	立会時間に変更となった場合の対応が困難
解決策	ウェアラブルを用いた現場立会検査の実施

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術

- ・発注者待ちで現場作業が一時止まる場合がある。
- ・現場待ちで発注者に待ってもらう場合がある。



生産性向上技術

- ・現場は、発注者待ちの時間が解消され、有効に時間を活用できる。
- ・発注者も、移動時間が無くなり、有効に時間を活用できる。



写真-1 （提供：神田委員）



写真-2 （提供：神田委員）

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

- ・現場事務所～発注者事務所の所要時間は、車で 40 分。
- ・対象とする現場立会は、立会回数の多い張出施工とする。
- ・配筋検査, 型枠検査, 出来形検査等のうち, 配筋検査を対象とする。
- ・現場立会回数 28 回の半分(2 回に 1 回)をウェアラブルによる立会に変更する。

表-1 立会い回数（配筋検査, 型枠検査, 出来形検査等）

対象部位	立会回数	備考
張出施工	28回	12BL+16BL
柱頭部施工	4回	2リフト×2橋脚
脚頭部施工	2回	2橋脚
側径間施工	4回	2リフト×2箇所
中央閉合	1回	1か所
壁高欄施工	8回	4分割×2回（左右）

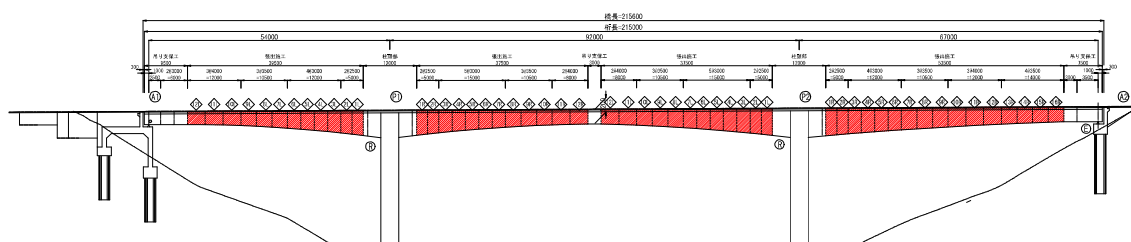


図-1 モデル橋梁側面図

ケーススタディ A班③ モデル橋梁 3径間連続PCラーメン橋

工 種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
型 枠 工	型 枠 工	組 立	苦渋作業	大

問題点（課題）	型枠建込の位置出し（墨出し）作業の省力化
解決策	AR を利用した型枠の位置出し

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
 写真-1 従来の型枠組立位置出し状況¹⁾ 現場職員2人が1組となり、設計図面や線形座標を確認しながら、トータルステーションおよびオートレベルを用いた平面・水準測量、スケール計測にて型枠組立位置を明示している。 また、型枠セット時においては、トータルステーションやオートレベルを使用して型枠の平面位置や高さを逐次確認しながら位置調整を行っている。	 写真-2 AR デバイスを利用した型枠の位置出しイメージ²⁾ 現場職員に AR 用デバイス「MicrosoftHoloLens」を装着し、事前に「GyroEyeHolo（ジャイロアイ ホロ）」にインポートした設計図（型枠組立図）などの 3D モデル（仮想空間）と現場状況（現実）を映し出すことで、1人で型枠組立位置を明示できる。 また、型枠セット時においても、AR 用デバイスを介して型枠の平面位置や高さの確認・微調整を行うことができる。

モデル橋梁における改善効果の比較

■ 検討条件

各施工位置における 箇所数	脚 頭 部	= 2 箇所
	柱 頭 部	2 ロット×2 箇所 = 4 箇所
	張 出 施 工	12BL(回)×3 箇所+16BL(回) = 52 箇所
	側 径 間 部	2 ロット×2 箇所 = 4 箇所
	中 央 閉 合	= 1 箇所
	壁 高 欄	4 箇所×2 列 = 8 箇所

■ 効果試算結果

1. 従 来 技 術	オートレベルとトータルステーションによる型枠位置出し	
各施工位置における 位置出しにかかる時間	脚 頭 部	2 人 × 30 分 × 2 箇所 = 120 分
	柱 頭 部	2 人 × 85 分 × 4 箇所 = 680 分
	張 出 施 工 部	2 人 × 60 分 × 52 箇所 = 6240 分
	側 径 間 部	2 人 × 150 分 × 4 箇所 = 1200 分
	中央閉合部	2 人 × 30 分 × 1 箇所 = 60 分
	壁 高 欄 部	2 人 × 60 分 × 8 箇所 = 960 分
	合 計	9260 分 = 154.3 時間
2. 新 技 術	AR デバイスを用いた型枠の位置出し	
各施工位置における 位置出しにかかる時間	脚 頭 部	1 人 × 20 分 × 2 箇所 = 40 分
	柱 頭 部	1 人 × 65 分 × 4 箇所 = 260 分
	張 出 施 工 部	1 人 × 50 分 × 52 箇所 = 2600 分
	側 径 間 部	1 人 × 130 分 × 4 箇所 = 520 分
	中央閉合部	1 人 × 20 分 × 1 箇所 = 20 分
	壁 高 欄 部	1 人 × 55 分 × 8 箇所 = 440 分
	合 計	3880 分 = 64.7 時間

その他（考察・留意点・将来性等）

■ 優 位 性

AR デバイスを用いることにより、基準点の確認、測量機器の盛替え、現地による手計算など手間取っていた作業を省略でき、各作業で 10～20 分程度の短縮が可能となる。また、原則二人で行っていた作業を一人で行えることにより、大幅な時間短縮が期待できる。

■ 留 意 点

XYZ 座標の原点マーク(基準点)から離れるほど、誤差が大きくなることに加え、一定時間毎に原点マークを確認し、精度が保たれていることを確認する必要がある。また、耐久性、防塵・防水性などデバイスの性能改善が必要である。

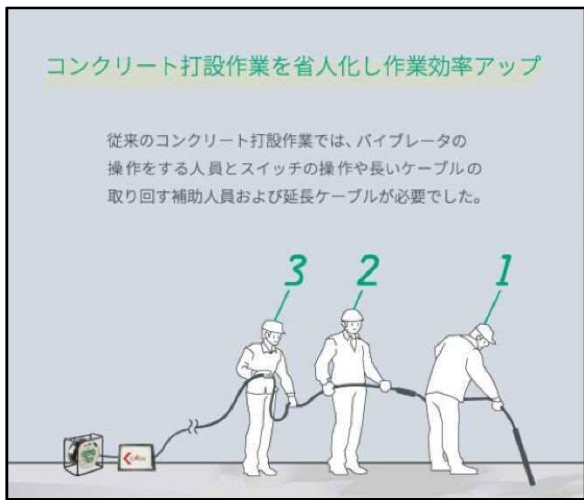
出典・参考資料

- 1) 一般社団法人日本建設業連合会 土木部:生産性向上事例集～土木編～, pp18, 2019 年 4 月
- 2) 家入龍太公式サイト建設ITワールド:GyroEye Holo で設備工事の AR 墨出し作業に成功! 屋外現場でも HoloLens を活用(インフォマティクス)
<https://ieiri-lab.jp/success/2017/09/outdoor-gyroeye-holo.html>

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
コンクリート工	打設	締固め	危険作業・苦渋作業	大

問題点（課題）	鉄筋内や鉄筋上での締固め作業、締固め役の長時間振動
解決策	次世代コードレス高周波バイブレータ（ECVシリーズ）使用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
・ガソリンエンジンの高周波バイブレータ使用  図-1 ガソリンエンジン高周波バイブレータの締固め¹⁾ ・ガソリンエンジンの高周波バイブレータを用いてコンクリートの締固めを行う場合、エンジン又はインバータ1台に3本程度のバイブレータを接続して作業を行う。 ・この組合せで作業を行う場合、バイブレータ1本に対して、バイブレータ挿入担当(1)、スイッチ操作担当(2)、ケーブル捌き担当(3)の3名1組で作業を行う。	・次世代コードレス高周波バイブレータ使用  図-2 次世代コードレス高周波バイブレータの締固め¹⁾ ・コードレス型の高周波バイブレータは、大容量バッテリーとインバータを一体化させ、背負ってコンクリートの締固め作業を行うことが可能となる。 ・この組合せで作業を行う場合、バイブレータ1本に対して、バイブレータ挿入、スイッチ操作、ケーブル捌きをすべて1人で担当し作業することが可能となる。

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

・コンクリート打設箇所数(バイブレータ使用本数)

脚頭部	: 1 リフト×2 箇所	= 2 箇所(6 本/箇所)
柱頭部	: 2 リフト×2 箇所	= 4 箇所(6 本/箇所)
張出施工部	: 12BL×3 箇所+16BL×1 箇所	= 52 箇所(4 本/箇所)
側径間施工部	: 2 リフト×2 箇所	= 4 箇所(6 本/箇所)
中央閉合部	:	= 1 箇所(4 本/箇所)
壁高欄部	: 4 箇所×2 列	= 8 箇所(4 本/箇所)

・締固め作業に要する人工

従来技術(ガソリンエンジンの高周波バイブレータ使用)	: 3 人/本
生産性向上技術(コードレス高周波バイブレータ使用)	: 1 人/本

・比較方法: 人工数

■効果試算結果

・従来技術(ガソリンエンジンの高周波バイブレータ使用)

脚頭部, 柱頭部, 側径間施工部	: 3 人/本×6 本/箇所×(2+4+4) 箇所 = 180 人
張出施工部, 中央閉合部, 壁高欄部	: 3 人/本×4 本/箇所×(52+1+8) 箇所 = 732 人
合計	912 人

・生産性向上技術(コードレス高周波バイブレータを使用)

脚頭部, 柱頭部, 側径間施工部	: 1 人/本×6 本/箇所×(2+4+4) 箇所 = 60 人
張出施工部, 中央閉合部, 壁高欄部	: 1 人/本×4 本/箇所×(52+1+8) 箇所 = 244 人
合計	304 人

その他(考察・留意点・将来性等)

- ・コードレス高周波バイブレータ(以下, コードレス)を使用することにより, コンクリート打設時の締固めに要する人数が単純計算で 1/3 となる。実際の現場作業においては, 複数の工種を兼任して従事するので, 単純に 1/3 となるとは言い難いが, 複数作業従事を考慮しても省人化の効果は大きい。
- ・ガソリンエンジンの高周波バイブレータを使用する場合に, 事前にエンジンやインバータを準備し, 配筋上の養生なども必要となるが, コードレスの場合はこれらが不要となる。
- ・コードレスの場合, 充電機による連続稼働時間が機種ごとに定められているので, 作業時間に応じて予備の充電機も必要となる。また, 充電機を含めた総重量が 10kg 弱となるので, 適切に休憩を挟むことも必要となる。
- ・今後も軽量化は可能と思われるので, 省人化が図れるツールとしての使用の可能性は大きい。

出典・参考資料

- 1) エクセン株式会社ウェブサイト:「コードレス高周波バイブレータ ECV シリーズ」概要
https://www.exen.co.jp/construction/earthwork_freki/ECV/

ケーススタディ A班⑤ モデル橋梁 3径間連続PCラーメン箱桁橋

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
コンクリート工	打設	管理	管理	大

問題点（課題）	打設時品質管理員の常駐
解決策	運搬時生コン性状確認システム（プローブシステム）使用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術												
 写真-1 コンクリート品質管理状況 （提供：今井委員） 表-1 品質管理項目（例） <table border="1"> <thead> <tr> <th>1バッチ目に実施</th><th>50m³毎に実施</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コンクリート温度</td><td>コンクリート温度</td></tr> <tr> <td>スランプ</td><td>スランプ</td></tr> <tr> <td>塩化物含有量</td><td></td></tr> <tr> <td>空気量</td><td></td></tr> <tr> <td>各種供試体採取</td><td></td></tr> </tbody> </table> ・コンクリート打設時に品質管理員が必ず常駐しなければならない。 ・当該橋梁は、張出し架設工法であるため、コンクリートの打設回数が非常に多い。よって、コンクリートの品質管理員を常駐させるだけで多くの人工を必要とする。	1バッチ目に実施	50m ³ 毎に実施	コンクリート温度	コンクリート温度	スランプ	スランプ	塩化物含有量		空気量		各種供試体採取		 写真-2 プローブシステム構成図¹⁾  図-1 測定記録の表示実例¹⁾ ・アジテータ車のドラム回転を利用したプローブで感知した圧力によってスランプ値を得るシステムである。 ・コンクリートの情報データは、プローブからレシーバーに無線で送信されるため、リアルタイムの品質が遠隔で確認できる。 ・当技術を採用することで、品質管理員を常駐させることなく、筒先者が品質を確認することが可能となり、生産性向上効果が期待できる。
1バッチ目に実施	50m ³ 毎に実施												
コンクリート温度	コンクリート温度												
スランプ	スランプ												
塩化物含有量													
空気量													
各種供試体採取													

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

比較方法: 人工

コンクリート打設回数

張出し施工	: 12BL + 16BL	= 28 回
柱頭部施工	: 2リフト × 2橋脚	= 4 回
脚頭部施工	: 2橋脚	= 2 回
側径間施工	: 2リフト × 2か所	= 4 回
中央閉合	: 1か所	= 1 回
壁高欄施工	: 4分割 × 2回 (左右)	= 8 回
合計		= 47 回

■効果試算結果

当該橋梁は張出し架設工法であるため、コンクリートの打設回数が非常に多く、コンクリートの品質管理員を常駐させるだけで 47 人工必要とする。当該橋梁では、工事中に必要な品質管理員の人工分(47 人工)の省人化が期待できる。

表-2 期待できる効果

従来工法	解決策	省人化効果
47 人工	0 人工	-47 人工

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・スランブやコンクリート温度をリアルタイムに把握することにより、生コン車待機中によるスランブロスによる性状変化をいち早く確認できる。
- ・生コン車から降ろすことなく性状を確認できるため、遠隔での品質管理が可能である。
- ・採用にはスランブコーン引抜き試験との整合性や妥当性を確認し、発注者からの理解が必要である。
- ・生コン車のドラムに改造が必要なため、生コンプラントとの協力が必要である。
- ・塩化物含有量試験は、プローブシステムで確認できない、かつ、最初の1バッチ目などは供試体採取が必要のため、品質管理担当者が必要である。(筒先者が打設前に兼務することも可能)
- ・打ち込み時のトレーサビリティとリンクさせ CIM モデルに展開することで、維持管理時の有益なビッグデータとなりえる。

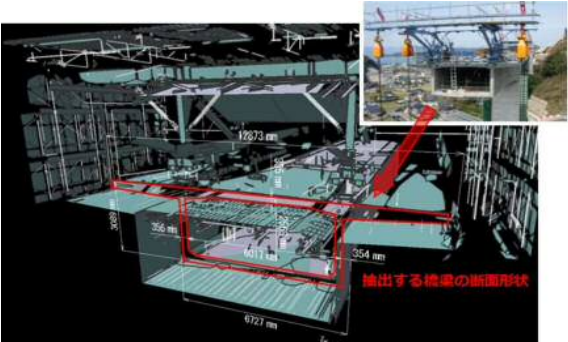
出典・参考資料

- 1) 廣藤義和: プローブを活用したコンクリート品質の連続管理システムによる生産性向上, コンクリート工学, pp783-787, 2017
- 2) 建設工業新聞: 「鴻池組／運搬中の生コン性状確認システム適用／施工中の庁舎上部躯体全体で品質管理」 2018/9/28

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
移動作業車	移動作業車	測量	苦渋/管理	中

問題点（課題）	張出し施工における断面形状の出来形寸法計測の省力化
解決策	3D レーザースキャナーを用いた出来形検測

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
現在、構造物の出来形検測作業では、2 名 1 組となりスケール（メジャー）を用いて採寸し記録している。また、エビデンスとして各寸法を写真に納め、出来形検測調書を作成し、合否判定のための検測では発注者機関の立会が必要となる。	 図-1 測定記録の表示実例¹⁾ 出来形検測作業の代替として高精度な 3D レーザースキャナーで計測した三次元点群データから橋梁の断面形状を自動抽出し、指定した箇所の出来形寸法を自動検測する。さらに、抽出した橋梁の断面形状を三次元 CAD データとして出力することが可能である。また、クラウド上でデータを管理することで、発注者を含む全ての関係者で情報の共有が図れ、施工管理の記録書類である出来形検測調書に出力することができ、検査書類作成作業の簡素化が図れる。

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

出来形検測箇所：PC3径間連続ラーメン箱桁橋 張出施工部断面

出来形検測回数：張出し施工：12BL(回)×3 箇所+16BL(回)×1 箇所=52 回

柱頭部施工：2 回×2 箇所 = 4 回

■効果試算結果

合計 = 56 回

○構造物 1 断面当たりに施工管理者が建設現場において拘束される時間



出来形検測に要する時間 (従来)：45 分/回/人×56 回=2520 分/人⇒42 時間/人
⇒2 人作業として 84 時間 (11 人工)



出来形検測に要する時間 (従来)：20 分/回/人×56 回=1120 分/人⇒19 時間/人
⇒2 人作業として 38 時間 (5 人工)

表-1 期待できる効果

従来工法	解決策	省人化効果
11 人工	5 人工	-6 人工

その他（考察・留意点・将来性等）

張り出し架設の出来形検測に 3D レーザースキャナーを活用することにより、従来の出来形検測作業と比較して建設現場における拘束時間は、一人当たり約 1/2 短縮される。一般に橋梁建設現場では複数の断面が存在するため、本システムにより生産性は約 2 倍に向上する。

この 3D レーザースキャナーで検測された施工中の橋梁断面形状データを蓄積し、多くのデータを一元管理するトータルシステムで供用開始時の初期データとして活用することにより、将来の維持管理の効率化やライフサイクルコストの低減を図ることも有効と考える。

今後の課題としては、

- ①日中にスキャナーをセット、計測するため、計測が完了するまで作業を止めておく必要がある。この計測作業を夜間に自動で行うことで、計測時間を施工サイクルに入れず更なる生産性向上につながる。
- ②透明型枠使用時の点群データにばらつきが生じ、計測誤差が大きくなるため、型枠の材質選定が精度向上につながる。
- ③3D レーザースキャナーの計測誤差としては最大で 2～3mm 程度となっており、今後の更なる計測精度の向上が求められる。

出典・参考資料

- 1) 三井住友建設株式会社ウェブサイト:3D レーザースキャナーを用いた橋梁の出来形検測システム
<https://www.smcon.co.jp/topics/2018/08091300/>

■ケーススタディの影響評価方法（表 2-3 参照）

ケーススタディの影響評価は、モデル橋梁の工種毎に従来技術に対して行った生産性向上対策の効果を数値化し、その数値の従来技術に対する比率を算出し、次の流れで行う。

1. 各工種について全体工事に対する比率として、その合計が 1.0 となるように値を設定し、この値を A とする。工種毎の値 A を下表に示す。

工種	準備工	仮設工	鉄筋工	型枠工	コンクリート工	PC 工	移動作業車	支保工	支承工	伸縮装置	合計
値 A	0.02	0.03	0.25	0.20	0.15	0.25	0.03	0.02	0.03	0.02	1.00

2. 作業区分（問題点）に対する解決策の工種内の比率として、その合計が 1.0 となるように値を設定し、この値を a とする。
3. 工種毎の比率 A に作業区分（問題点）毎の比率 a を乗じたものを B とし、B の合計が 1.0 となることを確認する。

$$B = A \times a$$

4. 対象部位について全体工事に対する各部位の工事の比率として、その合計が 1.0 となるように値を設定する。作業区分（問題点）毎に該当する対象部位の比率を合計しこの値に 1.0 を加えた値を C とする。全体工事に対する各部位の比率を下表に示す。

対象部位	脚頭部	柱頭部	張出施工部	側径間施工部	中央閉合部	壁高欄施工部	合計
値 C	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	1.00

5. 問題解決期待度に対して、大：1.30、中：1.20、小：1.10 とそれぞれ期待値を設定し、この値を D とする。
6. ケーススタディで対策前の状態を示す値として従来技術による施工を意味する「CS 影響基準」を 1.00 と設定し、この値を E とする。
7. ケーススタディで対策後の結果を示す値として生産性向上対策の効果を表す「CS 影響評価」をケーススタディ結果より値を設定し、この値を F とする。ケーススタディを実施していない作業区分については、F を 1.00 と設定する。
8. ケーススタディの影響を評価するために、従来技術での評価値（基準）と生産性向上対策を行った効果の値（評価）をそれぞれ次の様に算出する。

$$(\text{基準}) = B \times C \times D \times E$$

$$(\text{評価}) = B \times C \times D \times F$$

9. (基準) と (評価) をそれぞれ合計し、合計値の比率を算出することで生産性向上対策の効果を評価する。表 2-3 より、

$$(\text{評価}) / (\text{基準}) = 1.0453$$

問題点を解決することで、省人化に対し 4.5%程度の効果があったことがわかる

■ケーススタディ毎の「CS 影響評価」について

ケーススタディ毎の「CS 影響評価」は、(3) ケーススタディに示されたそれぞれの評価結果をもとに数値化している。それぞれの数値設定根拠を以下に示す。

1. A 班① 自律型鉄筋結束ロボットによる鉄筋結束支援

考察に示された「約 9%生産性が向上する」より、 $F=1.09$ とする。

2. A 班② ウェアラブルカメラを利用した検査

効果検証②より、現場立会検査の半分をウェアラブルに変更した場合に 30%程度の効果があることに、全体回数や移動時間のバラツキ (80%) を考慮し、

$$F=1.0/(1.0-0.3) \times 0.8=1.14$$

とする。

3. A 班③ 型枠建込の位置出し（墨出し）作業の省力化

効果試算結果より、従来技術と新技術の比率に、全体回数や作業時間のバラツキ (80%) を考慮し、

$$F=1.0/(1.0-64.7/154.3) \times 0.8=1.38$$

とする。

4. A 班④ 次世代コードレス高周波バイブレータの使用

効果試算結果より、従来技術と新技術の比率に、兼任作業などのバラツキ (80%) を考慮し、

$$F=1.0/(1.0-1/3) \times 0.8=1.20$$

とする。

5. A 班⑤ コンクリート運搬時生コン性状確認システムの使用

効果試算結果より、本橋梁では 47 人工必要か不要かの効果のため効果は 2.0 とし、兼任作業などのバラツキ (80%) を考慮し、

$$F=2.0 \times 0.8=1.60$$

とする。

6. A 班⑥ 3D レーザースキャナを用いた出来形検測

効果試算結果より、従来技術と解決策の比率に、検査回数のバラツキ (80%) を考慮し、

$$F=1.0/(1.0-5/11) \times 0.8=1.47$$

とする。

表 2-3 CS 影響評価表

工種	A	区分（作業）	解決策				対象部位						問題解決期待度		CS影響 基準 (E)	CS影響 評価 (F)	〈基準〉 B*C*D*E	〈評価〉 B*C*D*F	評価/基準
			a	B(A*a)	脚	柱	張	側	中	壁	C		(D)						
準備工	0.02	書類作成	施工計画自動作成自動化　／　施工計画作成支援ソフト	0.60	0.0120	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0288	0.0288	
		設計照査	設計照査の自動化	0.30	0.0060	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0144	0.0144	
		起工測量	UAV（ドローンレーザ）を使用した起工測量	0.10	0.0020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0024	0.0024	
仮設工	0.03	昇降設備	吊り上げるだけで立ち上がる大規模工事用ユニット支保工	1.00	0.0300	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	小	1.10	1.00	1.00	0.0347	0.0347	
鉄筋工	0.25	組立	自律型鉄筋結束ロボットによる鉄筋結束支援	0.10	0.0250	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.09	0.0650	0.0709	
			パワースーツ	0.10	0.0250	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0650	0.0650	
			ラクラクロールマット工法	0.10	0.0250	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	中	1.20	1.00	1.00	0.0360	0.0360	
			ウェアラブルカメラを利用した双方向通信	0.05	0.0125	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	小	1.10	1.00	1.00	0.0158	0.0158	
			機械式定着「Tヘッド工法鉄筋」 プレート定着型せん断補強鉄筋「Head-bar」	0.10	0.0250	0.05	0.10	0.50	0.00	0.00	0.00	1.65	中	1.20	1.00	1.00	0.0495	0.0495	
			従来技術	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.50	0.00	0.10	0.00	1.60	小	1.10	1.00	1.00	0.0220	0.0220	
			従来技術	0.05	0.0125	0.05	0.10	0.50	0.00	0.00	0.00	1.65	中	1.20	1.00	1.00	0.0248	0.0248	
			セルロースナノファイバーを利用した鋼材の軽量化	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.50	0.20	0.10	0.00	1.80	中	1.20	1.00	1.00	0.0270	0.0270	
			鉄筋組立作業の完全自動化	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	大	1.30	1.00	1.00	0.0244	0.0244	
			移動作業車内の見える化	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.00	0.0225	0.0225	
			腰タイプ作業支援用の装着型サイボグを用いた施工	0.05	0.0125	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0300	0.0300	
		管理	設備機器の据付工事における墨出し作業を自動化するロボットシステム	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.50	0.20	0.10	0.00	1.80	中	1.20	1.00	1.00	0.0270	0.0270	
			ウェアラブルを用いた現場立会検査の実施	0.05	0.0125	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.14	0.0325	0.0371	
			タブレットで撮影した画像と設計データを自動比較	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0163	0.0163	
			ステレオカメラを活用した配筋検査	0.05	0.0125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0163	0.0163	
			MR技術による配筋検査	0.05	0.0125	0.00	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	1.95	大	1.30	1.00	1.00	0.0317	0.0317	
型枠工	組立	従来技術	0.15	0.0300	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	小	1.10	1.00	1.00	0.0660	0.0660		
		従来技術	0.15	0.0300	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05	大	1.30	1.00	1.00	0.0410	0.0410		
		ARを利用した型枠の位置出し	0.10	0.0200	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.38	0.0520	0.0716		
		移動作業車内の見える化	0.05	0.0100	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.00	0.0180	0.0180		
		腰タイプ作業支援用の装着型サイボグを用いた施工	0.10	0.0200	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0480	0.0480		
	組立(管理)	従来技術	0.15	0.0300	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.05	1.25	小	1.10	1.00	1.00	0.0413	0.0413		
		従来技術	0.15	0.0300	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0720	0.0720		
	管理	ウェアラブルカメラを利用した検査	0.15	0.0300	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.14	0.0780	0.0891		
コンクリート工	0.15	打設	ロボットによる左官仕上げ（T-iROBO Slab Finisher）	0.10	0.0150	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.00	1.95	大	1.30	1.00	1.00	0.0380	0.0380	
			次世代コードレス高周波バイブレータ（ECVシリーズ）使用	0.10	0.0150	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.20	0.0390	0.0468	
			移動作業車内の見える化	0.05	0.0075	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.00	0.0135	0.0135	
			3Dプリンタを用いたコンクリート打設の無人化施工	0.10	0.0150	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0390	0.0390	
			腰タイプ作業支援用の装着型サイボグを用いた施工	0.10	0.0150	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	中	1.20	1.00	1.00	0.0360	0.0360	

工種	区分（作業）	解決策	対象部位										問題解決期待度		CS影響 基準 (E)	CS影響 評価 (F)	(基準) B*C*D*E	(評価) B*C*D*F	評価/基準
			a	B(A*a)	脚	柱	張	側	中	壁	C		(D)						
コン ク リ ー ト 工	0.15	養生	注水併用エアクーリング	0.05	0.0075	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	小	1.10	1.00	1.00	0.0095	0.0095	
			採光防音パネルによる囲いと温風ヒーターによる吸熱養生	0.10	0.0150	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.00	0.0270	0.0270	
		管理	運搬時生コン性状確認システム（ブローブシステム）使用	0.15	0.0225	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.60	0.0585	0.0936	
			AR-表面仕上げシステム	0.10	0.0150	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	大	1.30	1.00	1.00	0.0293	0.0293	
			連続RIコンクリート水分計	0.05	0.0075	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	小	1.10	1.00	1.00	0.0165	0.0165	
			ウェアラブルカメラを利用した検査	0.10	0.0150	0.05	0.10	0.50	0.20	0.10	0.05	2.00	大	1.30	1.00	1.14	0.0390	0.0446	
P C 工	0.25	緊張	自動緊張管理システム_SEEE、安部日鋼工業	0.20	0.0500	0.00	0.10	0.50	0.20	0.10	0.00	1.90	大	1.30	1.00	1.00	0.1235	0.1235	
			従来技術	0.10	0.0250	0.00	0.00	0.50	0.20	0.10	0.00	1.80	小	1.10	1.00	1.00	0.0495	0.0495	
			セルロースナノファイバーを利用した鋼材の軽量化	0.10	0.0250	0.00	0.00	0.50	0.20	0.10	0.00	1.80	小	1.10	1.00	1.00	0.0495	0.0495	
			シェアラグ鋼材の配置	0.15	0.0375	0.00	0.00	0.50	0.00	0.10	0.00	1.60	中	1.20	1.00	1.00	0.0720	0.0720	
			移動作業車内の見える化	0.10	0.0250	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.00	0.0450	0.0450	
		グラウト	グラウト注入管理システム_SEEE	0.25	0.0625	0.00	0.10	0.50	0.20	0.10	0.00	1.90	大	1.30	1.00	1.00	0.1544	0.1544	
			移動作業車内の見える化	0.10	0.0250	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.00	0.0450	0.0450	
移 動 作 業 車	0.03	組立・解体	CIMにより可視化した施工ステップを用いた架設シミュレーション	0.50	0.0150	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	大	1.30	1.00	1.00	0.0293	0.0293	
		移動	従来技術	0.10	0.0030	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	大	1.30	1.00	1.00	0.0059	0.0059	
		測量	クラウド型GPS変位計測システム、EagleEye	0.30	0.0090	0.05	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.55	中	1.20	1.00	1.00	0.0167	0.0167	
			3Dレーザースキャナを用いた出来形検測、三井住友建設	0.10	0.0030	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.50	中	1.20	1.00	1.47	0.0054	0.0079	
支 保 工	0.02	組立・解体	CIMにより可視化した施工ステップを用いた架設シミュレーション	0.50	0.0100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0130	0.0130	
			従来技術	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0000	0.0000	
			5G技術を活用し自動運転、遠隔操作により省力化	0.50	0.0100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	大	1.30	1.00	1.00	0.0130	0.0130	
支 承 工	0.03	支承設置工	CIM活用による支承アンカー、上部工鉄筋、PC鋼材位置の事前確認と位置調整	0.40	0.0120	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	小	1.10	1.00	1.00	0.0158	0.0158	
		無収縮 モルタル	非鉄系格子組補強材の使用	0.30	0.0090	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	中	1.20	1.00	1.00	0.0130	0.0130	
			従来技術	0.30	0.0090	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	中	1.20	1.00	1.00	0.0130	0.0130	
伸 縮 装 置	0.02	伸縮装置組立	CIM活用による鋼材同士の事前干渉確認と位置調整	0.50	0.0100	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	小	1.10	1.00	1.00	0.0132	0.0132	
			アンカー筋、上部工鉄筋、伸縮装置の鋼材を固定にスポット溶接を採用	0.30	0.0060	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	小	1.10	1.00	1.00	0.0079	0.0079	
		あと打ち コンクリ ート	炭素繊維シート（はく落防止材）をコンクリート打込み時に設置	0.15	0.0030	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	小	1.10	1.00	1.00	0.0040	0.0040	
			従来技術	0.05	0.0010	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.20	中	1.20	1.00	1.00	0.0014	0.0014	
合計	1.00				1.0000												2.0377	2.1300	1.0453

(4) 期待される技術

「期待される技術」の一覧を表 2-4 に示す。その詳細結果は次頁より、一覧表に示した期待される技術の番号順に示す。

表 2-4 A 班期待される技術一覧

番号	期待される技術	
A	課題	クレーン作業半径外への鉄筋運搬
	解決案	セルロースナノファイバーを利用した鋼材の軽量化
B	課題	長時間を要する設計計算書と図面の整合性の確認作業
	解決案	設計照査の自動化
C	課題	移動作業車内の障害物による死角
	解決案	移動作業車内の見える化
D	課題	コンクリート打設作業の省力化
	解決案	3D プリンタを用いた無人化施工
E	課題	仮設資材の運搬・組立作業の効率化，省人化
	解決案	5G 技術を活用し自動運転，遠隔操作により省力化
F	課題	鉄筋組立作業の省力化
	解決案	鉄筋組立作業の完全自動化
G	課題	担い手不足や高齢化
	解決案	腰タイプ作業支援用の装着型サイボーグを用いた施工

<期待される技術について（全班共通）>

本項では，具体的な解決案を本活動の中で見出せなかった「解決したい問題点（課題）」の中で，今後技術が進めば問題解決の可能性のあるものについて紹介する。具体的には，既に建設業で使用されているが PC 橋建設工事で使用するには精度等が十分でない，他産業では使用している技術であるが建設業への展開ができていない，基礎研究レベルで実用化レベルまで達していない技術などを検討対象とした。

A セルロースナノファイバーを利用した鋼材の軽量化（期待できる工種：鉄筋工）

クレーン作業半径外において、鉄筋や PC 鋼材など重量物の運搬・組立て作業は、苦渋作業であるとともに、作業箇所および作業状況によっては労働災害のリスクが高まる。今後、建設産業においては、技能労働者の高齢化や担い手不足などの問題がさらに深刻化していくことから、鉄筋や PC 鋼材など重量物の運搬・組立て作業の省力化が重要課題の一つであるといえる。

このような問題・課題を解決するうえで期待される技術としては「セルロースナノファイバー（以下、CNF）」を用いた鋼材の軽量化が考えられる。

CNF とは、植物の主成分であるセルロースから抽出した極細（直径が数～数十ナノメートル）の繊維状の材料で、軽量に加え強度が高い特性を有する。その他にも熱変形が小さい、透明度が高いなど多彩な特性を有することから文房具や自動車、建材など応用範囲は幅広い。

各種製品の実用化に向けた開発は活発に行われているが、最大の課題としてはコストの高さ（1 万円/kg というケース有り）が挙げられる。低コスト化に向けた生産技術の開発に加え、高機能鋼材の実用化に向けた研究開発が進み、製品化されれば、鋼材の運搬・組立て作業の省力化技術として大いに期待できる。

また、生活の身近にある木材などから採れる天然（植物）由来の「グリーン材料」で栽培により再生産できるため、環境負荷の軽減への貢献も期待できる。

【日経 BP(日経 xTECH) : <https://tech.nikkeibp.co.jp/atcl/nxt/keyword/18/00003/092700004/>】

B 設計照査の自動化（期待できる工種：準備工）

現状、施工者の設計照査は、発注図および設計成果より図面・計算書の整合を確認し、現場施工が可能であるか確認する作業となる。これらの確認作業は、職員により計算書と図面を 1 箇所毎にチェックする必要があるため、工事規模にもよるが膨大な時間がかかる。さらに、チェックの漏れなどの人為的ミスが生じる可能性がある。今後の人手不足が深刻化する中で、これらの作業を省力化しつつ、安定した成果を収めることが求められている。

1990 年代に PC が普及してから、画像から必要な情報を抽出し、統計的なデータを得る画像解析が多種多様な分野において活用されてきている。さらに近年、画像解析に AI を組み合わせることで、画像の必要データの抽出の自動化が可能となってきた。現在、建築分野において、紙図面から数量の拾い取りを行う AI の共同研究を開始した段階である。本技術は、作業時間の 90%削減を目指している。

今後、AI による画像解析を設計照査に導入することで、設計照査に必要となる時間と人為ミスを削減し、高品質な成果を安定的に提供することが可能となる。

【一般社団法人 地域建設業新未来研究会 : <https://www.cca-net.or.jp/?p=174>】

C 移動作業車内の見える化（期待できる工種：移動作業車内での工種全般）

現場内で作業する際、障害物等により死角が生じると、災害の危険性が高まる。逆に死角を無くせば、災害発生を防ぐことに繋がる。

自動車業界では、車の運転席から前方の車の先が「透けて見える」技術がある。自車のインパネに配置されたディスプレイに前方車の先が「透けて見える」映像が表示されるテクノロジーで、先行車を追越しする際、右折時などに本来「見えない先」を見通せる技術である。

システムは、自車にテレマティクスアンテナ、レーザースキャナー、コンピュータ画像カメラシステムを使い、先行車のカメラ映像を自車のディスプレイに重ねるように映し出して、透ける映像が可能になっている。先行車と自車の通信は Wi-Fi を使っているが、将来的には 5G と車対車ネットワーク（V2V）を使ってデータを統合する計画である。先行車のカメラだけでなく、路上の監視カメラも利用できる可能性がある。また、先行車等のカメラは、汎用カメラで対応可能である。

今後、上記技術を移動作業車内に導入できれば、死角が無くなり、より安全に作業を進められ、かつ作業の効率性を高めることにも寄与する技術である。

【Excite ニュース：「先が透けて見える」ヴァレオが開発した驚きの技術「XtraVue」とは？
https://www.excite.co.jp/news/article/Clicccar_640797/】

D 3D プリンタを用いたコンクリート打設の無人化施工 （期待できる工種：コンクリート工）

場所打ちコンクリートによる張り出し架設施工では、すべての工種において有人による作業が必要であることが問題である。よって、有人作業を可能な限り削減し、生産性向上を図ることが課題である。

上記による課題を解決するために期待される技術のひとつとして、「3D プリンタを用いた無人化施工」が考えられる。3D プリンタを移動作業車に取付け、超高強度繊維補強コンクリートなどの鉄筋が不要な材料を用いることで、無人での躯体構築が可能となる。実際にオランダで 3D プリント橋が制作されたが、安全性などの様々な問題を理由に現場での建設を中止し、工場内で部品を分割製造、後日組立作業が行われた。今後、それらの問題点が克服され、現地での製造作業が実用化されることで無人化施工に伴う大幅な生産性向上が期待できる。

この技術は、無人化施工により人的災害が削減することで安全性の向上が期待でき、ロボットによる施工のため高品質なものづくりが可能となると考える。

【2019 年 9 月オランダのアイントホーフェンに世界最長の 3D プリント製コンクリート橋が完成：<https://idarts.co.jp/3dp/bridge-project/>】

【MX3D はセンサー類をインストールした世界最大の金属 3D プリントブリッジを完成させた：<https://idarts.co.jp/3dp/mx3d-3d-printing-bridge/>】

E 5G 技術を活用した自動運転、遠隔操作により省力化（期待できる工種：支保工組立）

土木構造物を建設する場合、トラックなどの運搬車により仮設資材の運搬を行い、クレーンなどの建設機械により仮設資材の組立を行っているが、この仮設資材、例えば橋梁の建設では移動作業車、支保工における部材の運搬・組立は、その他の工種と比較しても時間を要する工種のひとつである。今後の少子高齢化に伴い、作業員の減少が見込まれる中では、仮設資材の運搬・組立作業の効率化、省人化が求められる。

この問題を解決するうえで期待される技術として、5G 技術を活用した自動運転、遠隔操作である。韓国では世界に先駆け 2019 年 4 月に 5G の通信サービスが開始されており、日本でも 1 年遅れではあるが、2020 年に開始される見込みで急速に普及すると予想される。

5G の特徴には大きく分けて「高速大容量」、「低遅延」、「多接続」があり、これらの特徴により、視覚を拡張し、距離を超えることが可能となる。

高速大容量の特徴により、タイムラグのない高精細映像の伝達（視覚の拡張）が可能となり、映像に映るものを認識する AI も発展していることから、カメラや各種センサーを搭載した運搬車の自動運転や建設機械の遠隔操作が可能となる。人手不足が深刻になっている建設現場では、建設機械の遠隔操作が実用化されれば、遠方の現場に出向く必要がなくなる。例えば、午前は沖縄の建設機械を操作する、午後に北海道の建設機械を操作する、といったことも可能である。5G 技術で距離を超えることにより、技能を持つ人材を遠隔地でシェアできるようになり、5G 技術は省力化技術として大いに期待できる。

また、無人で自動運転・遠隔操作が実現しても、故障、危険感知を想定した異常時における遠隔監視や遠隔操作の対応が欠かせなくなるが、高速大容量、低遅延の特徴により、リアルタイムに情報を高速にやり取りすることで常時監視を行い、異常時に緊急停止することにより安全を担保することも可能と思われる。

【日経 BP：5G&人工知能ビジネス 2020，日経クロストrend，pp1-127，2020/1/30】

F 鉄筋組立作業の完全自動化（期待できる工種：鉄筋工）

現状、現場打ちコンクリートの場合の鉄筋組立は、鉄筋結束を自動で行うロボット等の開発・実用化が進んでいるものの、まだまだ人間で行う作業が大半を占める状況である。

今後、人手不足がますます深刻化する中で、人間に代わるものとしてロボットによる鉄筋の組立自動化が一つの解決策と考えられる。

自動車メーカー等他産業では、工場内丸ごと全てロボットによる完全自動化が行われている。ただ、屋外環境、一品生産である建設業界では、まだまだハードルが高い状況である。

しかし、プレキャスト製作工場にて鉄筋の配置、結束作業を自動で行うロボットの開発・導入が始まっている。プログラミングされたロボットが、アーム先端部にて鉄筋保持治具と市販の鉄筋結束機の自動着脱を行い、鉄筋の配置と結束作業を行うもので、これにより、作業員は鉄筋材と結束するワイヤを鉄筋結束機に充填するのみとなっている。今後、移動作業車内に鉄筋を自動組み立てするロボットが設置されれば、鉄筋材と結束する

ワイヤを作業員が供給するだけで、あとはロボットが自動で鉄筋の配置，結束を行うことが可能となり，省人化・省力化が期待できる技術である。

【三井住友建設株式会社ウェブサイト：鉄筋組立自動化システム「Robotaras™（ロボタラス）」の開発に着手

<https://www.smcon.co.jp/topics/2019/05151300/>】

G 腰タイプ作業支援用の装着型サイボーグを用いた施工

（期待できる工種：PC 橋製作，架設作業全般）

現在，自動化や機械化が遅れている建設現場において，人がいないと工事が進まない状況であるのに現実には人手不足や高齢化という問題を抱えている。

これを解決するべく適用可能な技術として，「HAL®腰タイプ作業支援用」の使用が考えられる。この装着型サイボーグを装着することにより，「身体を動かす」という「人の意思」に従い，動作をアシストするので，重量物を扱う作業が楽に行え，腰部への負荷が減る。作業効率の向上や，ケガのリスク軽減にも期待が持てる。

この技術は，既に消防や救命救急の現場や，重量物を人が扱う工場などで採用されているので，同様に人手が少ない中重量物を扱い「現場内で動く」，「同じ姿勢で作業する」，「重量物を持ち上げる」などの作業をする建設現場での活躍が期待できる。また。高齢化への対策ばかりではなく，若い未経験の作業員でも比較的安全に作業することも可能となるので，これからの建設業には必要な技術になると考える。

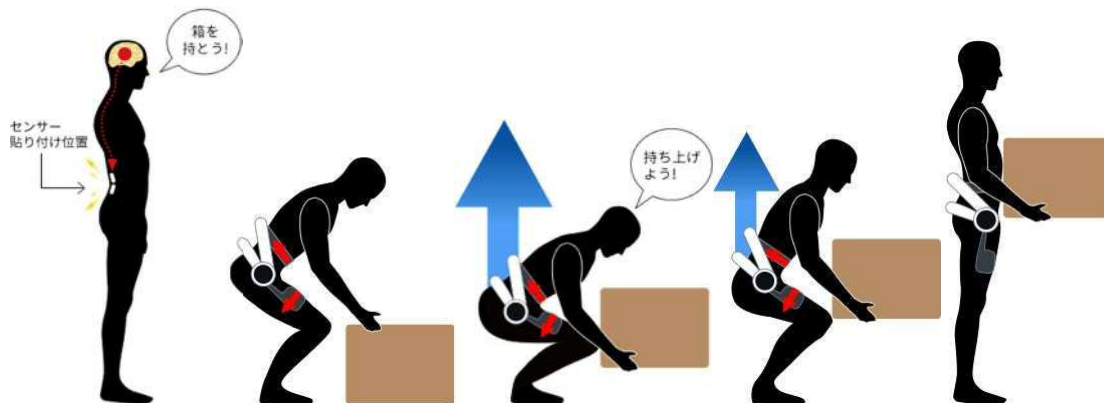


図 2-4 HAL®腰タイプ作業支援用の概要

【安田産業株式会社ウェブサイト：<https://hal.yasuda-sangyo.co.jp/about/index.html>】

(5) 考察

モデル橋梁を通して橋梁工事における生産性向上を考えてきたが、その考察を以下列記する。

① 問題解決評価表の考察

- ・生産性向上の効果を定量的に評価するため、工種や区分（作業）ならびに問題解決期待度の重要度に応じて係数を設定したが、工事費や労務工数、労務時間など指標とする内容に応じて変動する。

- ・「CS 影響評価値」に用いた各ケーススタディにおける効果試算結果は、「労務時間」や「労務工数」などの指標により算出された評価値である。前述の係数と同様、指標とする内容に応じてケーススタディにおける効果試算結果ならびに生産性向上の評価（最終評価値）が変動する。

- ・一連の工程の中から抽出した全 6 項目のケーススタディにおける効果にともない、当該モデル橋梁における生産性向上の最終評価は「約 4.5%の向上」であった。各ケーススタディにおける問題・課題の多くは「苦渋作業」および「管理の省力化」であることから、同評価値は主に省人化・省力化に関する効果であると考ええる。

- ・ケーススタディの一部には「工程短縮」に直結する内容も含まれていることに加え、前述の省人化・省力化に関連する効果も工程短縮に寄与していると考えられる。しかし、現状では効果の度合いなど不確定な要素が残っているため、全体工程に対する短縮効果については、別途検証が必要であると考ええる。

- ・各ケーススタディは、主要工種から選定されていることに加え、これらの多くは対象部位全てに該当する内容であるが、生産性向上の評価（最終評価値）が高いとはいえない結果に至った。要因の一つとしては、解決策の多くが「計測・管理」に関連した要素技術であることが挙げられ、大幅な生産性向上を図るためには「プレキャスト部材」や「3D プリンタ」の活用などが考えられる。

② 今後期待される技術の考察

- ・今後期待される技術の実現により、従来よりも生産性が向上し、今回のモデル橋梁における生産性向上の最終評価（今回は約5%向上）も上昇すると考える。
- ・主要工種（鉄筋工、型枠工、コンクリート工、PC工）に着目すると、「材料の軽量化」、「自動化」、「ロボット化」等が挙げられた。いずれも従来作業では苦渋作業と区分されている作業である。
- ・「材料の軽量化」としては、セルロースナノファイバーが挙げられた。車で10%を超える軽量化が実証されており、鉄筋やPCケーブルに替わる材料となれば、生産性の向上に大いに寄与するものである。今回のモデル橋梁ならば、1ブロックの張出スパン長の延長（張出施工部のブロック数減）による工程短縮も可能となるに違いない。実際に比重が鉄の7分の1と軽量なアラミド繊維補強（AFRP）をプレストレス材として用いた非鉄製PC橋が工事用仮橋で適用されており、期待できる技術である。
- ・「自動化」としては、鉄筋組立の自動化。産業ロボット工場等では、工場内完全自動化が既の実現されている。建設業では屋外生産、現地一品生産等、解決すべき課題はまだあるが、省人化・省力化の観点から今後期待される技術である。
- ・「ロボット化」としては、ロボットアーム。運搬できる重量は現状10kgであるが、技術の進歩により、今後更なる重量物を運べれば、苦渋作業として挙げられた緊張ジャッキの運搬や鉄筋材の運搬等で活用され、省人化・省力化に繋がるものと考えられる。
- ・今回のモデル橋梁では、主要工種に限らず、工事の上流側から下流側の全プロセスにおいて現状の問題点（課題）が挙げられた。既の実用化されている技術もあるが、まだ実現性の低い技術や今後の開発に期待する技術も多くある。

これら挙げられた課題が今後の技術開発により、一つでも多く改善されれば、今回のモデル橋梁（移動作業車を用いた張出し架設工法）において、省人化・省力化が促進され、生産性向上に繋がるものと考ええる。また、働き方改革の観点からも上記技術の普及により、一人一人の有効な時間を従来よりも多く作ることが可能と考える。ただし、今後自動化、ロボット化の環境が当たり前となった時、その環境下に置かれた若手技術者にどのように技術を伝承していくか、人材教育についても並行して開発していかなければならないと考える。

2. 2. 2 4 径間連続 PC 中空床版橋（固定式支保工架設工法）B 班

(1) モデル橋梁構造と基本条件

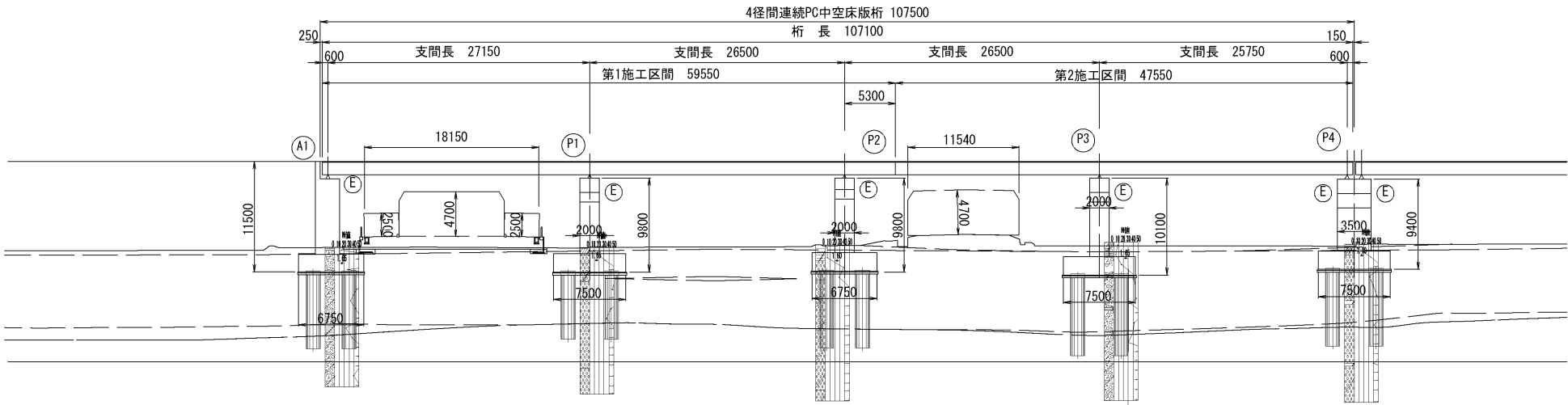
モデル橋梁の基本条件を表 2-5 に示す。モデル橋梁の一般図を図 2-5，標準工程を表 2-6 に示す。

表 2-5 B 班モデル橋梁設計条件

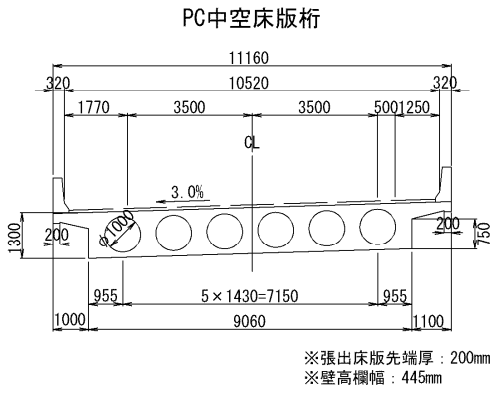
橋長		L=107.500m
有効幅員		B=1.770m+2@3.500m+1.750m（全幅員 10.520m）
平面線形		R=∞
斜角		A1, A2：θ=90° 0′ 0″, P1, P2：θ=90° 0′ 0″
縦断勾配		LEVEL
横断勾配		i=3.000%（→）
形式	上部工	4 径間連続 PC 中空床版橋
	下部工	橋台：逆 T 式橋台，橋脚：張出式橋脚
	基礎	場所打ち杭
架設工法		固定式支保工架設工法
塩害区分		散布 S 区分（凍結防止剤散布）
その他条件		①P4～終点側掛違ひ部橋梁は施工済みであり橋面は使用可
		②架設地点は市街地
		③4 週 8 休厳守
		④舗装工事を含む
		⑤冬期休止は行なわい
		⑥表面保護工，剥落防止対策工を含む
		⑦分割施工

B 班モデル橋梁

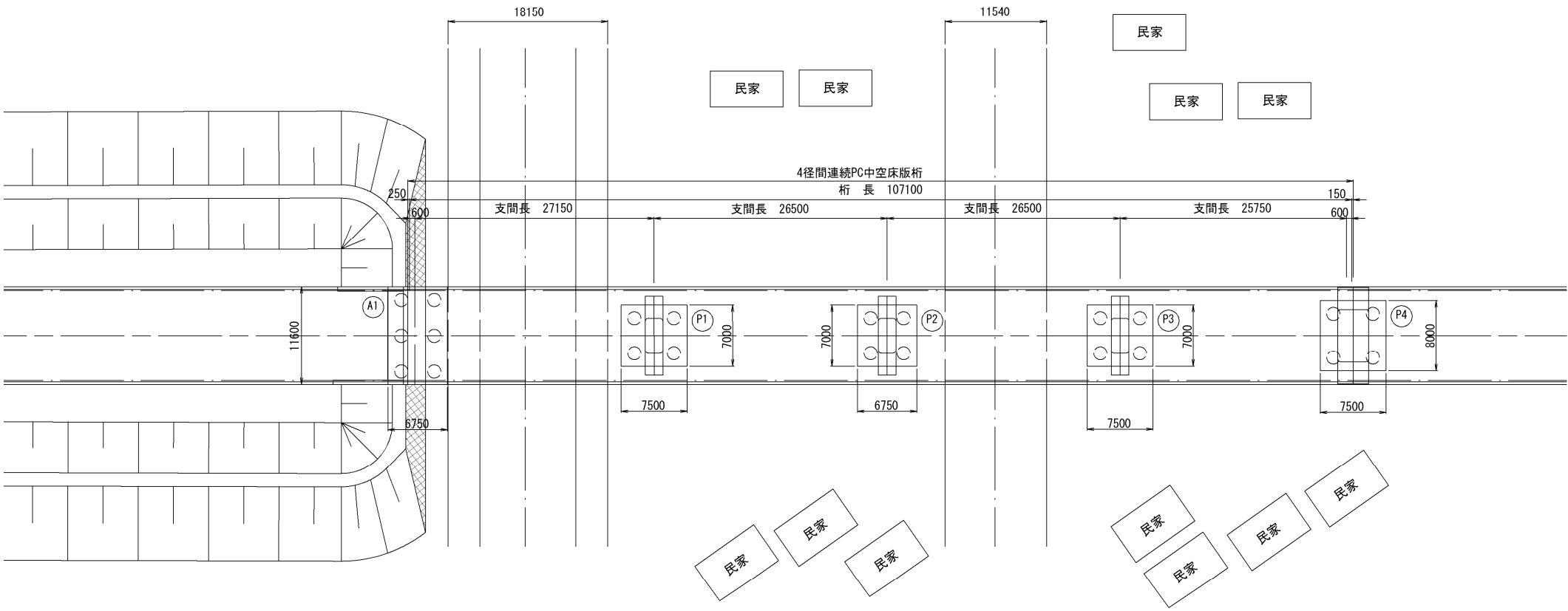
側面図 S=1:300



上部工断面図 S=1:100



平面図 S=1:300



施工数量

名 称	規格・寸法	単位	第1施工	第2施工	合計
コンクリート	$\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$	m ³	527.9	409.0	936.9
型 枠		m ²	841.8	653.6	1495.4
鉄 筋	SD345	kg	53038	40705	93743
PC鋼より線	SWPR7BL 12S15.2	kg	15877	12409	26286
緊張工	両引き	本	20	—	20
	片引き(右)	"	—	20	20

図 2-5 B 班モデル橋梁一般図

表 2-6 標準工程

■B班モデル橋梁：標準工程

B班モデル橋梁：4径間連続PC中空床版橋(場所打ち)											
橋 長 107.5m (4径間連続) 支 間 27.15m+2@26.50m+25.75m (第1施工区間：59.55m、第2施工区間：47.55m) 幅 員 11.16m											
工 種 \ 月 日	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	想定人工数
準 備 工	■	■									240人工【4名/日】 (職員：4名)
支 保 工			■	■	■						900人工【12名/日】 (職員：2名, 作業員：10名)
支 承 工			※第1施工区間	※第2施工区間							100人工【5名/日】 (職員：1名, 作業員：4名)
型枠加工組立工				■	■	■					480人工【8名/日】 (職員：2名, 作業員：6名)
鉄筋・PCケーブル工				■	■	■	■				960人工【12名/日】 (職員：2名, 作業員：10名)
円筒型枠取付工					■		■				140人工【7名/日】 (職員：1名, 作業員：6名)
コンクリート・養生工						■	■				240人工【8名/日】 (職員：4名, 作業員：4名)
緊張・グラウト工						■		■			160人工【8名/日】 (職員：1名, 作業員：7名)
型枠脱枠工						■		■			210人工【7名/日】 (職員：1名, 作業員：6名)
支保工解体工							■	■			720人工【12名/日】 (職員：2名, 作業員：10名)
橋 面 工								■	■	■	850人工【17名/日】 (職員：2名, 作業員：15名)
後 片 付										■	360人工【12名/日】 (職員：2名, 作業員：10名)
合 計											5360 人工

(2) 課題の抽出と解決案

モデル橋梁の施工において、生産性を考える上での問題点や課題の抽出結果，および解決策を一覧にまとめ記載する。

モデル橋梁施工に伴う問題点（課題）と解決案一覧表

モデル橋梁：4 径間連続PC中空床版橋

架設工法　：固定支保工

現場条件　：①P4～終点側掛違ひ部橋梁は
 施工済みであり橋面は使用可
 ②架橋地点は市街地
 ③4週8休厳守
 ④舗装工事を含む

⑤冬季休止は行わない
⑥表面保護工、剥落防止対策工を含む
⑦分割施工

<問題種別凡例>

工程短縮（省力化）したい作業	管理（品質、出来形、安全等） の省力化を図りたい作業	その他
危険作業	苦渋作業	

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別		問題点（課題）	問題解決 期待度	解決策	ケース スタディ	今後期待 される 技術
主桁工	鉄筋工	加工	工		鉄筋の加工変更による工程短縮の検討	中	定着・継手等の変更。		
		運搬	他		鉄筋置き場からの荷揚げ，人力での運搬	小	RFIDタグを利用し自動運転機能を備えたロボットによる資材運搬。		A
			工	危	市街地でのクレーンによる荷揚げ	中	AR技術によるクレーンの可視化。	①	
		組立	工	管	人力での非効率的な鉄筋結束作業	大	地組等によるプレファブ化を行い，鉄筋結束は自動結束機を使用することで生産性向上を行う。 地組みすることで，高所作業削減。		
							鉄筋拘束作業の自動化。	②	
							地組等によるプレファブ化。		
							AR技術による配置鉄筋の可視化。		
			苦		過密鉄筋の組み立て作業，太径鉄筋の組み立て作業	中	ラクラクロールマット工法（鹿島建設）。		
			苦	管	鉄筋とPC鋼材等の干渉	大	設計段階で3次元C A Dを使用して，干渉の有無を確認し，手戻り無く生産性向上を行う。		
							3D CADによる図面の重ね合わせによる事前確認。		
						CIMの活用，3Dモデル化。			
			工	管	組立順序の間違いによる手戻り	大	3次元C A Dを使用して，過密鉄筋箇所の鉄筋組み立て順序を設計段階で明確化にする。また，作業員に対しては現地でタブレットを使用し，手戻りが無いように組み立て順序を随時確認できるようにする。		
		3D CADによる図面の重ね合わせによる事前確認。							
		3Dモデルによる組立方法の検討会の実施。							
				スマートフォンカメラによる鉄筋形状の確認（ZOZOMAT）。		B			
		苦		雨天時の墨出し作業	中	AR技術による配置鉄筋の可視化。			
	PC工	組立	他		シーす連結部の確実な組立て	小	取付が簡易な継手の開発。		
			危		ケーブル挿入作業	中	なし（今後の技術開発に期待）。		
		緊張工	危		緊張作業時の安全確保	中	自動緊張による人力作業および危険作業の低減。	③	
			危		異常緊張力のリスク（ヒューマンエラーの回避）	中	教育の実施。		
						中	自動緊張による人力作業および危険作業の低減。	③	
		グラウト	管	他	試験回数	大	施工継ぎ目部の補強をPCで行う際，NAPP工法を採用することで，現場での緊張管理とグラウト作業を無くす。		
			管	他	冬季施工時の養生方法の検討	中	コンクリート養生管理に用いる無線温湿度測定装置。		
	型枠工	加工	苦		定着部座掘り等の複雑な形状の加工	大	3Dコンクリートプリンターの活用。	④	
		組立	他		型枠の組立・かため作業	中	3Dコンクリートプリンターの活用。	④	
			工	型枠の転用計画の検討（使用材，転用回数他）		大	断面形状の規格化を図り，型枠転用回数を増やす。		
				苦		2人1組による測量作業，測量結果記録ミスによる工程遅延	大	自動追尾式光波測距測角（自動追尾TS）による測量作業ワンマン化。	⑤
			解体	危		解体時における足場の部分解体	中	3Dコンクリートプリンターの活用。	④
		他		建設廃棄物（型枠廃材）削減	小	3Dコンクリートプリンターの活用。	④		
		危		解体時の転落防止	大	バイク用エアバッグの技術を応用した作業服を開発。			
						移動式吊り足場。			

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別		問題点（課題）	問題解決 期待度	解決策	ケース スタディ	今後期待 される 技術
主桁工	円筒型枠	設置	危		円筒型枠吊り込み時の挟まれ防止	大	3 Dコンクリートプリンターの活用.	④	
							自動検知システム、レーザーバリア等で警告.		
							円筒型枠に軽量の紙パウダー入りプラスチック成形材を採用		C
					打設時の浮き上がり防止	中	浮上り防止金具の設置.		
	コンクリート	打設	苦		打設方法の検討（円筒型枠直下等狭隘箇所充填確認方法他）	中	高流動や中流動コンクリートを採用し、締め固め作業の省力化を行い、生産性向上を図る. 流動性の確認は3次元動画による流動シミュレーションで行い、施工試験の省力化を行う.		
							充填センサーの設置.		
							輸送管など重量物の運搬、設置、打設作業	中	パワースーツやロボット化
			均し	工		手動測量の減少、精度向上、工期短縮	中	測量の自動化・GPS測量・AR技術の活用.	⑥
		工		測量の自動化・GPS測量・AR技術の活用（無人自動運転）				D	
		他		橋面高さ、排水勾配Conの精度向上（均一な均し、水溜りが出来ない様に）	大	コテキング（鹿島建設）.			
		養生	他		飛来塩分の躯体への浸入	中	塗膜養生材の塗布.		
			管	他	冬季施工時の養生方法の検討	大	温度管理の自動化、遠隔操作.	⑦	
							「アドバンスト・コンクリート・フィニッシュ工法（ACF工法）」.		
		品質 出来形管理 日常管理	測量	管	工	出来形の検測手間	大	3Dレーザースキャナーの使用.	⑧
	苦				2人1組での作業	小	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する.		
	他				コンクリート打設時の支保工のたわみ管理	中	TSを用いた自動計測.		
	工				作業効率	中	3次元レーザースキャナ、ドローン、スマホの活用.		
	写真		管	他	鉄筋写真の撮影の省力化	中	ステレオカメラとタブレット端末を使用した配筋検査.	⑨	
				他	写真整理の省力化	中	AIによる写真整理.	⑨	
	調書作成		管	他	調書作成の省力化の検討	大	AIによる調書の自動作成.		E
	立会		管	他	移動時間	大	ウェブカメラによる立会い検査.		
				他	現場立会い回数の削減	大	5Gによる自由視点映像を活用した立会検査、パトロール.		F
地覆工			組立	工		組立て方法の検討	大	地組等によるプレファブ化.	
	型枠工	加工	工		地覆型枠の転用計画の検討（使用材、転用回数他）	中	鋼製型枠の使用（透明型枠含む）.		
	コンクリート	打設	工		工程短縮の検討	大	高欄のプレキャスト化.		
			他		主桁コンクリートとの一体施工	中	なし（今後の技術開発に期待）.		
		均し	苦		ハンチ部の気泡の除去	中	超音波振動によるコンクリートの締め固め. 透明型枠の仕様.		
		養生	他		冬季施工時の養生方法の検討	中	アドバンスト・コンクリート・フィニッシュ工法（ACF工法）.		
	目地工	設置	他		地覆コンクリートのひび割れ対策の検討	中	誘発目地の適正配置.		
						中	自己修復コンクリート.		
足場 支保工	くさび式支保工	組立	工		組立作業の簡略化（工法選定他）、組立作業時の墜落・転落防止	中	組立・解体の簡略化. バイク用エアバッグの技術を応用した作業服を開発.		
		解体	危		解体作業時の墜落・転落防止	中	バイク用エアバッグの技術を応用した作業服を開発.		
		転用（場内運搬）	工		転用計画の検討（組立・解体回数の削減、組み上がった状態の支保工を運搬等）	中	移動式足場による一括転用.		
		支柱式支保工	組立	危		部材の飛来落下（工具・仮設材等）	中	部材をユニット化し、部材数量を低減.	⑩
	苦			開口部と桁下の空間が狭く、苦渋作業となる可能性、 道路空頭の確保	中	なし（今後の技術開発に期待）.			
	解体		危		部材の飛来落下（工具・仮設材等）	中	部材をユニット化し、部材数量を低減.	⑩	
	支保工養生	鉄板敷設 鋼矢板敷設	危		鋼材敷設時の挟まれ防止、鋼材の転用計画	中	なし（今後の技術開発に期待）.		
			危		軟弱地盤の場合、地盤沈下の可能性	中	なし（今後の技術開発に期待）.		

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題点(課題)	問題解決期待度	解決策	ケース スタディ	今後期待 される 技術
剥落防止工	シート防水	シート貼り付け	他	貼り付け手間，高所・狭小区間での作業	小	コンクリート剥落防止用のバルチップを添加し，現場でのシート設置作業を減らす。高所・狭小区間での作業が無くなり安全性向上。		
伸縮装置		設置	他	使用重機	小	軽量の伸縮装置を採用することで一括施工が可能となり，工数減を図る。また，使用重機の能力を小さくでき，掛け違い部既設側橋面上に。 軽量で1m単体構造の伸縮装置を採用することで，取替え必要箇所のみに対応可能となる。		
排水工	排水柵	設置	他	補強筋の簡略化	中	炭素繊維やアラミド繊維による補強。		
			他	排水柵とコンクリート境界部の漏水	中	なし（今後の技術開発に期待）。		
	排水管	設置	危	高所作業車による取付時における材料の落下	中	なし（今後の技術開発に期待）。		

(3) ケーススタディ

ケーススタディの一覧を表 2-7 に示す。その詳細結果は次頁より、一覧表に示したケーススタディの番号順に示す。

表 2-7 B 班ケーススタディ一覧

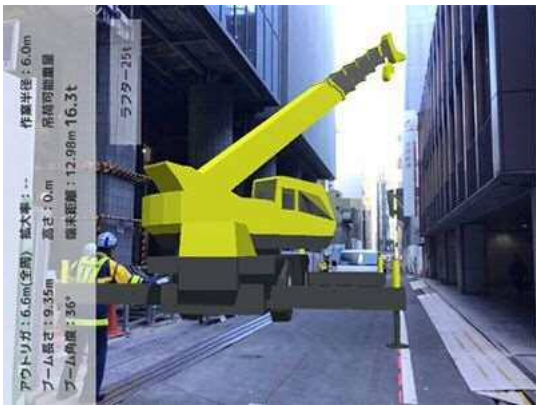
番号	ケーススタディ	
①	課題	市街地でのクレーンによる荷揚げ
	解決案	AR 技術によるクレーンの可視化
②	課題	人力での非効率的な鉄筋結束作業
	解決案	鉄筋結束作業の自動化
③	課題	緊張作業時の安全確保，異常緊張力のリスク（ヒューマンエラーの回避）
	解決案	自動緊張による労力および危険作業の低減
④	課題	型枠の加工・組立・解体作業の効率化，安全化，建設廃棄物（型枠廃材）削減
	解決案	3D コンクリートプリンタを使用し，コンクリート部材を自動製作
⑤	課題	2 人 1 組による測量作業，測量結果記録ミスによる工程遅延
	解決案	自動追尾式光波測距測角（自動追尾 TS）による測量作業ワンマン化
⑥	課題	手動測量の減少，精度向上，工期短縮
	解決案	測量の自動化・GPS 測量・AR 技術の活用
⑦	課題	冬季施工時の養生方法の検討
	解決案	温度管理の自動化，遠隔操作
⑧	課題	出来形の検測手間
	解決案	3D レーザースキャナーの使用
⑨	課題	鉄筋写真撮影・写真整理の省力化
	解決案	ステレオカメラとタブレット端末を使用した配筋検査，AI による写真整理
⑩	課題	部材の飛来落下
	解決案	部材をユニット化し，部材数量を低減

ケーススタディ B 班① モデル橋梁 4 径間連続 PC 中空床版橋

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	鉄筋工	運搬	工程短縮 危険作業	中

問題点（課題）	市街地でのクレーンによる荷揚げ
解決策	AR 技術によるクレーンの可視化

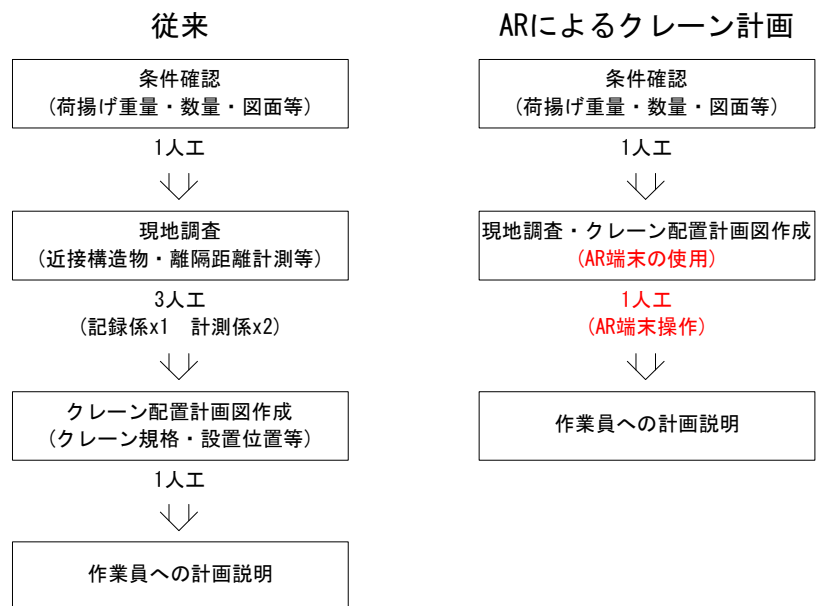
生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
市街地では近接する構造物、共用している道路によりクレーンの稼動範囲が限定される。また、第三者被害を発生させないために、現地測量などの事前確認が必要となる。  写真-1 揚重状況	AR 技術により、現地映像と 3D クレーンデータを重ね合わせることでクレーンの配置計画を立てることができる。また、近接構造物とクレーンの取り合いを確認することで安全管理を行うことができる。  図-1 3D クレーンデータ合成状況¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

1 回の荷揚げ計画について従来工法と新技術の比較を行う。



■効果試算結果

従来技術 → クレーン配置計画 5 人工

生産性向上技術 → クレーン配置計画 2 人工

結果, 3 人工削減(24h)

その他（考察・留意点・将来性等）

- 現地でモニタ越しにクレーン配置状況を確認できるため、作業計画の作成が容易になると考えられる。
- 作業計画が 2D から 3D になることで、作業員への計画周知の理解度が上がり、安全性向上に繋がると考えられる。
- 3D データの設定ミスに注意が必要となる。

出典・参考資料

1) AR 技術で作業所の安全確保と省力化を実現！

－建設機械の配置計画を見える化する「建機 AR(エーアール)」を開発－

<https://www.toda.co.jp/news/pdf/20190628.pdf>

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	鉄筋工	鉄筋組立て	工程短縮	大

問題点（課題）	人力での非効率的な鉄筋結束作業
解決策	鉄筋結束作業の自動化

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術

ハッカーを使用し、一箇所ずつ鉄筋を結束する。繰り返し単純作業であるが、作業量が多く、工程に影響を及ぼす。



写真-1 手作業による鉄筋結束状況



写真-2 鉄筋ハッカーによる鉄筋結束状況

生産性向上技術

鉄筋結束を自動化することで工程短縮を図る。



写真-3 リバータイア¹⁾
(鉄筋結束機)



写真-4 T-iROBO Rebar²⁾
(自動鉄筋結束機)

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

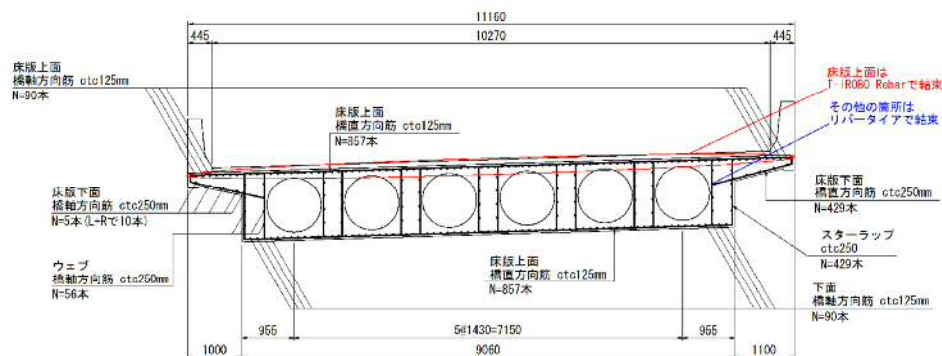


図-1 モデル橋梁断面図

従来技術

○鉄筋結束が必要な箇所数

床版上面=90 本 × 857 本=77130 箇所

床版下面=10 本 × 429 本= 4290 箇所

底 面=90 本 × 857 本=77130 箇所

ウ ェ ブ=56 本 × 429 本=24024 箇所

合 計= 182574 箇所

○鉄筋量 =93.743t

○鉄筋 1t 当り必要人工数 =6.8 人工³⁾

○鉄筋 1 日 当り作業量 =2.1t³⁾

生産性向上技術

○鉄筋結束が必要な箇所数

床版上面=T-iROBO Rebar= 0 箇所

床版下面=10 本 × 429 本= 4290 箇所

底 面=90 本 × 857 本=77130 箇所

ウ ェ ブ=56 本 × 429 本=24024 箇所

合 計= 105444 箇所

○鉄筋量 =同左

○鉄筋 1t 当り必要人工数 =同左

○鉄筋 1 日 当り作業量 =同左

■効果試算結果

従来技術

○人工数比較

手動の場合、一箇所当り結束時間は 15 秒と仮定

$182574 \times 15 / 28800 = 95$ 人工

○工程短縮比較

1 日 辺り 人工数=6.8x2.1=14.3 人工

必要人工数=93.743x6.8=637.5 人工

鉄筋加工組立て日数=637.5/14.3=45 日

生産性向上技術

○人工数比較

リバータイア場合、一箇所当り結束時間は 10 秒と仮定

$105444 \times 10 / 28800 = 37$ 人工

結果, 58 人工削減(464h)

○工程短縮比較

鉄筋結束削減人工数=58 人工

人工数=637.5-58=579.5 人工

鉄筋加工組立て日数=579.5/14.3=41 日

結果, 4 日工程短縮

その他（考察・留意点・将来性等）

- 機材が入らない箇所については手作業による鉄筋結束が必要となる。
- 誤作動によるケガや機材稼動部周辺の安全管理が必要となる。

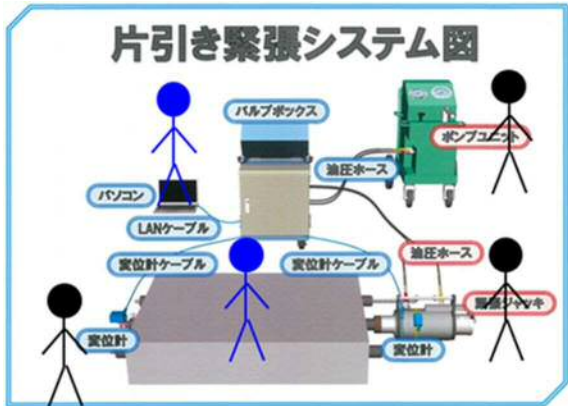
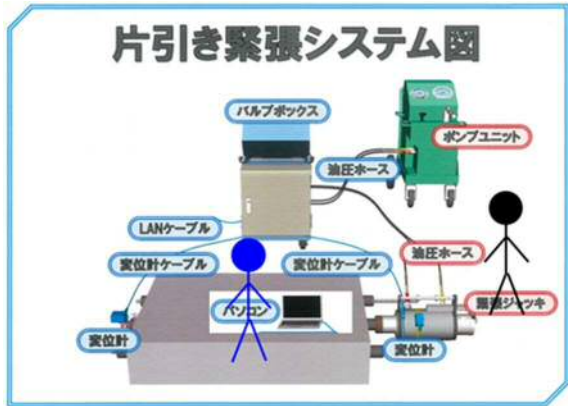
出典・参考資料

- 1) マックス株式会社「鉄筋結束機リバータイア」
- 2) 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センターウェブサイト:プレス発表/2017 年 10 月 16 日/配布資料
https://www.furo.org/img/works/20171016t_irobo_rebar.pdf
- 3) 一般財団法人建設物価調査会発行 国交省土木工事標準積算基準書(河川・道路編)
IV-7-⑪-2 2019 年版

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	PC 工	緊張工	工	大

問題点（課題）	緊張作業時の安全確保，異常緊張力のリスク（ヒューマンエラーの回避）
解決策	自動緊張による人力作業および危険作業の低減

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
通常の緊張作業は，作業指揮者，グラフ管理者，ポンプ操作，伸び・引込み量測定(手元)×2 と 5 名程度の人員を要する作業である。 伸び・引込み量の測定，グラフ管理は人により行われるため，緊張作業に人為的な誤差が発生する懸念がある。また，緊張作業中は緊張ジャッキ後方での作業が発生するため，安全にも多大な注意を払う必要がある。  図-1 従来の緊張作業	自動緊張システムを導入し，作業人員の削減，緊張精度及び作業環境の改善を図る。 システムを導入することで，ポンプ作業，伸び・引込み量測定は自動化される。作業指揮者がグラフ管理者を兼務し，手元作業はジャッキの移動等と省力化されるため，2 名程度での作業が可能となる。人為的な誤差も排除され，緊張精度も向上し，緊張作業中のジャッキ後方での作業もなくなるため安全性も向上する。  図-2 自動緊張作業

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

1 施工区間のケーブル本数約 20 本，緊張方向 片引き，グラフデータは自動整理

■効果試算結果

試算方法は施工実績による

改善前 所要時間：4 名×8h×1.5 日(緊張日数)×2 回(施工区間)→96h+2h(グラフ整理)×2 日×2 回=104h(13 人
工)

改善後 所要時間：2 名×8h×1.5 日(緊張日数)×2 回(施工区間)×0.8(連続作業による低減)=39h(5 人
工)

改善効果 所要時間：65h(8 人工)減

その他（考察・留意点・将来性等）

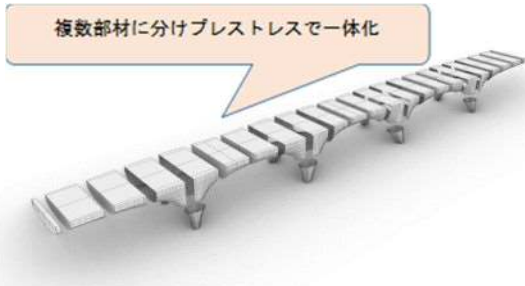
- ・張出し架設等，緊張回数の多い橋梁ほど，改善効果の影響が大きくなる。
- ・緊張管理に携わる現場管理者が 2 人から 1 人となるため，現場管理者の負担を確実に低減出来る。
- ・グラフデータ管理，グループ管理も自動化されるため，事務所における業務の省力化も図れる。
- ・ジャッキ盛替え等は人力作業となるため，完全自動化には課題が残る。

ケーススタディ B班④ モデル橋梁 4径間連続PC中空床版橋

工種	名称(工種)	区分(作業)	問題種別	問題解決期待度
主桁工	型枠工	加工・組立・解体	苦渋・危険作業	大

問題点(課題)	型枠の加工・組立・解体作業の効率化, 安全化, 建設廃棄物(型枠廃材)削減
解決策	3Dコンクリートプリンターの活用

生産性向上技術の概要(従来技術との比較)

従来技術	生産性向上技術
型枠の加工・組立・解体作業には多くの労働力が必要であり, 工程に影響を与える。また, 主桁端部は多数の定着具が配置される為, 型枠形状が複雑になる問題がある。 型枠の加工・組立・解体作業を行う際に, 作業員が被災する可能性が存在する問題がある。	3Dコンクリートプリンターを使用し, 主桁コンクリート部材の大半を自動製作することで労働力削減が可能となる。空洞や曲面を自由にデザインできるため, 円筒型枠が不要となる。従来の仮設型枠の加工・組立・解体作業などが不要となるため, 工程短縮が行える。
 写真-1 型枠組立状況	 写真-2 3Dプリンター¹⁾  図-1 3Dプリンターでの桁製作¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

(1) 3Dプリンター使用により標準工程から削減される工種および工期

- ・支承が配置される各支点充実部(A1,P4:2.0m,P4 橋脚以外:2.6m)は場所打ち施工を想定。
- ・3Dプリンター使用により標準工程から削減される工種および工期は桁長比より下記の通り。

- ① 型枠加工組立工: $60 \text{ 日} \times (107.1\text{m} - 2.0\text{m} \times 2 - 2.6\text{m} \times 3) / 107.1\text{m} \rightleftharpoons 53 \text{ 日}$
- ② 円筒型枠取付工: $20 \text{ 日} \times (107.1\text{m} - 2.0\text{m} \times 2 - 2.6\text{m} \times 3) / 107.1\text{m} \rightleftharpoons 18 \text{ 日}$
- ③ 型枠脱枠工: $30 \text{ 日} \times (107.1\text{m} - 2.0\text{m} \times 2 - 2.6\text{m} \times 3) / 107.1\text{m} \rightleftharpoons 27 \text{ 日}$

合計 **98 日削減**

(2) 追加工種および工期

- ・セグメントは固定式支保工上に架設することを想定する。
- ・セグメントの運搬時は特殊車両通行許可申請提出を前提とし、1 セグメントは 30t 以下とする。
- ・セグメント数はコンクリート数量から、 $70\text{BL}(\div 936.9\text{m}^3 \times (95.3\text{m}/107.1\text{m}) \times 2.5\text{t}/\text{m}^3 / 30\text{t})$ とする。また、各施工区間でセグメント数は、第 1 施工区間 39BL、第 2 施工区間 31BL とする。
- ・3Dプリンターで製作したセグメント桁を運搬・接合・架設する場合の工種および歩掛りの想定は下記の通りに設定する。

- ④ セグメント製作工 : 70 日 (【1 セグメント/日を想定】)
- ⑤ セグメント運搬工 : 7 日 ($\div 70\text{BL} / 10$ 【10 セグメント/日を想定】)
- ⑥ セグメント架設・接合工 : 14 日 ($= 70\text{BL} / 5$ 【5 セグメント/日を想定】)

合計 **91 日追加**

■効果試算結果

- ① 型枠加工組立工 : 53 日 $\times$ -8 人工 (職員: 2 名, 作業員: 6 名) = -424 人工
- ② 円筒型枠取付工 : 18 日 $\times$ -7 人工 (職員: 1 名, 作業員: 6 名) = -126 人工
- ③ 型枠脱枠工 : 27 日 $\times$ -7 人工 (職員: 1 名, 作業員: 6 名) = -189 人工
- ④ セグメント製作工 : 70 日 $\times$ +6 人工 (職員: 2 名, 作業員: 4 名) = +420 人工
- ⑤ セグメント運搬工 : 7 日 $\times$ +10 人工 (職員: 2 名, 作業員: 8 名) = +70 人工
- ⑥ セグメント架設・接合工 : 14 日 $\times$ +10 人工 (職員: 2 名, 作業員: 8 名) = +140 人工

合計 = **-109 人工削減**

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・3Dプリンターでの桁製作精度が不明であるため、国内発注機関で決められている設計・施工基準を満足することが可能か、留意する必要がある。
- ・オランダでの実績は歩行者・自転車橋である。道路橋に採用するには国内発注機関で決められている設計・施工基準を満足できるかが課題である。複数のセグメントを PC 鋼材で一体化した後、載荷試験を行い、ひずみやねじれ、破壊形態の確認を行うことが必要となる。
- ・モデル橋梁において主桁型枠が $1330\text{m}^2(\div 1495.3\text{m}^2 \times 95.3\text{m}/107.1\text{m}$ 【約 89%】) 削減できる。その結果、建設廃棄物を大幅に削減することができる。また、使用するコンクリート分量も設計データから正確にわかるので、残コンの発生量も削減することが可能となる。よって、環境負荷低減に大きな効果があると考ええる。
- ・様々なデザインで桁製作が可能となり、環境にも優れることから、国内の道路橋に適用可能となれば、多くの土木構造物に活用できる可能性が高くなると考える。
- ・工場ではなく、架橋地点で 3Dプリンターを使用した桁製作や壁高欄製作が行えれば、更なる生産性向上が実現できるものと考ええる。
- ・主鉄筋はどのように配置されるか不明であったため鉄筋工に関しては効果試算結果から今回除外したが、3Dプリンターを使用したセグメント製作では、配力筋はコンクリート内に練り込みながら配置されるため²⁾、鉄筋組立についても生産性向上効果は期待できるものと考ええる。また、PC 工についてもシーす組立等の作業が減となるため、更なる生産性向上効果は期待できるものと考ええる。

出典・参考資料

- 1) 家入龍太公式サイト建設ITワールド:オランダで世界最長の 3D プリント橋を建設
<http://ieiri-lab.jp/it/2019/05/nijmegen-3d-printed-bridge.html>
- 2) 家入龍太公式サイト建設ITワールド:配力筋を練り込む！ 3D プリンターで造った橋の製作過程が明らかに
<https://ieiri-lab.jp/it/2017/10/dutch-3d-printed-bridge.html>

ケーススタディ B班⑤ モデル橋梁 4 径間連続 PC 中空床版橋

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	型枠工・支保工	組立・設置（測量）	苦渋作業	大

問題点（課題）	2人1組による測量作業, 測量結果記録ミスによる工程遅延
解決策	自動追尾式光波測距測角(自動追尾 TS)による測量作業ワンマン化

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
型枠や支保工の位置出し時に行う測量作業は, 従来測量機器側と測点側にそれぞれ作業者を配置し, 2人1組で行うが, その頻度は多く, 苦渋作業の1つとなっている。また, 昨今の技術者および技能者不足や繁忙度向上に起因する測量ミスにより, 品質低下や工程遅延が発生するリスクがある。 写真-1 従来測量 (2人1組)¹⁾	自動追尾式光波測距測角(自動追尾 TS)による測量作業ワンマン化により, 測量作業の省力化・効率化を行い, 生産性向上を行う。 写真-2 1人測量¹⁾ 図-1 システム構成¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

(1) 測量回数

・モデル橋梁での測量作業は, 右表の通り

24 回発生することを想定する。

表-1 測量回数根拠

	(回数)		
	A1~P2	P2~P4	全体
地盤測量			3
支保工位置測量	2	2	4
支保工主梁位置だし(交差道路上)	1	1	2
側枠スミ出し	1	1	2
円筒枠スミ出し	2	2	4
張出し床版側枠スミ出し	1	1	2
天端カットライン測量			2
壁高欄位置スミ出し	1	1	2
出来形測量			3
測量回数合計:			24

(2) 時間短縮効果

時間短縮効果については、固定プリズムを使用したワンマン計測と同程度とし、下記の通りワンマン計測による時間短縮効果を示した文献を根拠とした。（「株式会社玉川組：軟弱地盤における沈下板ワンマン計測による時間短縮効果について」より）

- ・従来測量作業は従来測量機器側と測点側にそれぞれ作業者を配置し、2人1組で行う。

1 回当たり 40 点程度を 210 分計測する事を想定

- ・自動追尾式光波測距測角(自動追尾 TS)による測量作業はワンマン化で行う。

1 回当たり 40 点程度を 90 分計測する事を想定

表-2 測定時間²⁾

測定保方法	40 点当り	1 点当り
固定プリズム	90 分	2.25 分
従来	210 分	5.25 分

■効果試算結果

改善前 所要時間：3.5hr(=210min)×24 回＝84hr(10.5 人工)

改善後 所要時間：1.5hr(= 90min)×24 回＝36hr(4.5 人工)

改善効果 ： ＝**48hr(6.0 人工)**

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・複雑な曲面部の測量精度に留意する必要有り。今後の測量精度向上により、利用範囲(曲線部材の取付けなど)拡大につなげることが可能。
- ・測量データを自動記録するシステムと組合せることで品質管理の向上につながり、更なる生産性向上が実現できる。加えて、ヒューマンエラーによる測量結果転記ミス防止につながり、工程遅延リスクが低減できる。
- ・既知点への測量ダブルチェックに活用することで、単純な測量ミスに起因するトラブル防止に有効である。
- ・測量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)で音声操作を行えるため、より安全かつ効率的(プリズム位置合わせの迅速化)に作業を継続でき、大幅な作業効率と苦渋作業低減が実現できるものと考ええる。

出典・参考資料

1) 2017 生産性向上事例集/一般社団法人日本建設業連合会 生産性向上推進本部

https://www.nikkenren.com/sougou/seisansei/pdf/seisan_all_2017.pdf

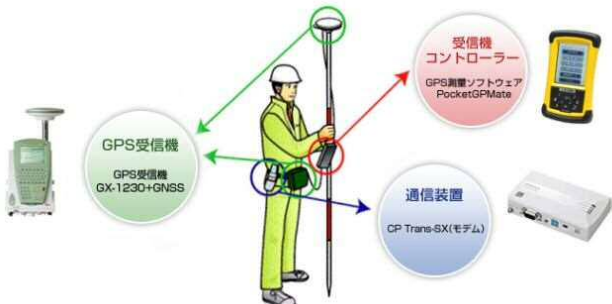
2) 株式会社玉川組：軟弱地盤における沈下板ワンマン計測による時間短縮効果について

www.ejcm.or.jp/jcm/ronbun/21/pdf/21r-026.pdf

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	コンクリート	均し	工	中

問題点（課題）	手動測量の減少，精度向上，工期短縮
解決策	測量の自動化・GPS 測量・AR 技術の活用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
コンクリートの均しは，人力による部分が多い。打設面積が増えると左官工が多く必要になり，左官工の手配が工程に影響を与える。 左官工は天端高さを水系や天端高表示具を基準として作業を行うが，目視による都度確認と何段階かに分けての均し作業となるため作業性が悪い。将来の省力化や自動化への布石となる技術開発が求められる。	GPS 測量と AR 技術の組合せにより，出来形を瞬時に視覚的に確認することが出来る。測量手間が減り，左官作業の効率化が図れる。
 写真-1 従来の均し作業	 図-1 ネットワーク型 GPS 測量イメージ¹⁾  写真-2 CIM モデルと AR デバイスの併用例²⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

1 回の打設時に配置する出来形測定作業員を 2 人とする。

■効果試算結果

改善前 2 人/回×2 回=4 人工

改善後 1 人/回×2 回=2 人工

その他（考察・留意点・将来性等）

現在のネットワーク型 GPS 測量の精度(cm 単位)では採用は難しい。

ネットワーク型 GPS 測量の精度の向上が期待される。

出典・参考資料

1)株式会社レックス:ネットワーク型 GPS 測量

<https://www.rexse.com/category/gps-survey/vrs/>

2)家入龍太公式サイト建設ITワールド:CIM と AR, 測量を連携した PC 橋の生産革命 (IHI インフラ建設コンソーシアム)

<http://ieiri-lab.jp/success/2018/11/ihi-infra-const-pc-bridge.html>

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	コンクリート	養生	他	大

問題点（課題）	冬季施工時の養生方法の検討
解決策	温度管理の自動化，遠隔操作

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）



モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

養生 5 日，打設回数 2 回

■効果試算結果

改善前 所要時間	夜間巡視(19 時～7 時＝12h)に 2 人，5 日間	$12\text{h} \times 2 \text{人} \times 5 \text{日} = 120\text{h/回}$
	2 回打設	$120\text{h/回} \times 2 \text{回} = 240\text{h}(30 \text{ 人工})$
改善後 所要時間	システム構築を 2 日間で 2 人	$2 \text{人} \times 16\text{h}(2 \text{ 日}) = 32\text{h}(4 \text{ 人工})$

その他（考察・留意点・将来性等）
・自動制御により最適な養生温度管理することで、初期のひび割れの低減を図ることが可能となりコンクリートの品質向上につながる。 ・温度管理には、適切な管理基準値の設定、ジェットヒーターの設置台数および位置の決定などの事前計画が大切である。

出典・参考資料
1)土木学会ウェブサイト:学術論文等公開 土木建設技術発表会 概要集 2012 年 コンクリート養生管理システムの開発と実適用結果に基づく高架の検証 https://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00984/2012/mg01.htm

ケーススタディ B班⑧ モデル橋梁 4 径間連続 PC 中空床版橋

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	出来形管理・日常管理	測量	工程短縮	大

問題点（課題）	出来形の検測手間
解決策	3D レーザースキャナーの使用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
- 従来は出来形検測作業では、2 名 1 組となりスケールを用いて手作業で計測、写真撮影ののち、調書を作成する。 - 合否判定は発注者機関の立ち合いが必要となり、一連の作業に各機関で大きな負担が生じている。 - 測量、合否判定の作業はすべて現地作業となるため、安全性の確保にも配慮が必要である。	3 次元点群データから断面形状を自動抽出し、自動検測を行う。クラウド上でデータを管理し、調書の出力が可能となる。 - 現地作業が不要となり、安全性が向上する。交通誘導員が不要となり人件費の削減が可能となる。

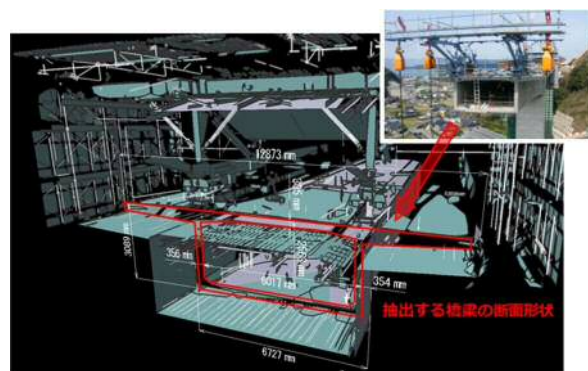


図-1 3 次元点群データ¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

〈従来技術〉

(1)検測回数 2 回(第 1・2 施工区間各 1 回)

(2)検測箇所 第 1 施工区間 42 箇所
第 2 施工区間 29 箇所

(3)所用時間 1 箇所につき 5 分

(4)人 工 2 人

従来技術は、土木工事施工管理基準²⁾の内容をもとに設定した。

〈生産性向上技術〉

(1)検測回数 2 回(第 1・2 施工区間各 1 回)

(2)検測箇所 第 1 施工区間 1 箇所
第 2 施工区間 1 箇所

(3)所用時間 検測 1 回につき 20 分

(4)人 工 1 人

表-1 検測箇所算定表（従来技術）

第 1 施工区間：2 径間+1 区間（A1-P1/P1-P2/P2-施工目地）、支点 3+端部 1
第 2 施工区間：1 径間+1 区間（施工目地-P3/P3-P4）、支点 2+端部 1

			第 1 施工区間	第 2 施工区間	備考
検測箇所	主桁	基準高	12	9	各支点（端部）1 箇所あたり 3 点（両端と中央部）
		幅	9	6	各径間（区間）3 点（両端と中央部）
		厚さ	9	6	
		桁長	3	2	
	橋面工	地覆高欄	9	6	各径間（区間）3 点（両端と中央部）
合計			42	29	

生産性向上技術は、三井住友建設 HP「3D レーザースキャナー」の記事を参考に設定した。

■効果試算結果

〈従来技術〉

労務時間 第1 施工区間 42 箇所×5 分=210 分(3.5h)	}	合計 3.5h+2.4h=5.9h
第2 施工区間 29 箇所×5 分=145 分(2.4h)		

〈生産性向上技術〉

労務時間 第1 施工区間 1 回×20 分=20 分(0.3h)	}	合計 0.3h+0.3h=0.6h
第2 施工区間 1 回×20 分=20 分(0.3h)		

《生産性向上率の算出》

人 工 数 2 人→1 人

労務時間 5.9h→0.6h

∴ 生産性向上率 $1 - (0.6h / 5.9h \times 1 \text{ 人} / 2 \text{ 人}) = 194\%$

その他（考察・留意点・将来性等）

・3D レーザースキャナーは精密機械であり、現時点の技術では悪天候時や低温時の計測においてエラーが起きやすいという課題がある。本工事は寒冷地での冬期施工を想定していることから、この点において十分留意する必要がある。

・データを蓄積することにより、将来的に維持管理の効率化や LCC の低減が期待できる。

・3D レーザースキャナーの出来形検測以外の活用例として、離れた場所からコンクリート構造物に生じたひびわれの幅・長さ・3 次元位置座標を測定することができる。これを利用して高所などの遠隔所でも足場や高所作業車を使用することなくひび割れ調査が可能である³⁾。

出典・参考資料

1) 三井住友建設株式会社ウェブサイト:3D レーザースキャナーを用いた橋梁の出来形検測システム

<https://www.smcon.co.jp/topics/2018/08091300/>

2) 国土交通省:土木工事施工管理基準/平成 28 年 3 月

3) 株式会社水巧技術コンサルタント:ひび割れ計測システム KUMONOSU

<http://suiko-.co.jp/business/%E3%81%B2%E3%81%B3%E5%89%B2%E3%82%8C%E8%A8%E6%B8%AC%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%A0%E3%80%80kumonosu>

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
主桁工	日常管理	写真	その他	中

問題点（課題）	鉄筋写真撮影・写真整理の省力化
解決策	ステレオカメラとタブレット端末を使用した配筋検査，AI による写真整理

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
- 鉄筋写真において，従来はマーキングとスケールを使用して目視と撮影による検査をしている。 - 撮影作業ののち，事務所にて手動で写真整理の必要がある。  写真-1 マーキングとスケールによる検査¹⁾	- タブレット端末を使用したシステムを用いた自動配筋検査。配筋した検査対象を撮影するだけで，鉄筋径，間隔，本数の計測が可能¹⁾。 - 写真を AI が自動判別，整理を行うことで撮影後の写真整理，書類作成の手間が削減できる²⁾。  写真-2 タブレット端末による写真撮影¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

◇鉄筋検査

従来技術の検査箇所は，「東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン」³⁾および鹿島建設 HP「ステレオカメラを活用して配筋検査の大幅な省力化を実現！」¹⁾の内容をもとに設定した。

表-1 鉄筋検査 検討条件

			従来技術	生産性向上技術	備考
検査箇所	検査回数	回	2	2	第1・2施工区間各1回
	材料	項目	2	2	規格、スペーサー
	配筋	項目	5	5	加工、組立、継手、定着、補強
撮影枚数			枚	3	1 検査箇所1箇所あたりの枚数
所用時間	帳票作成	min	30	30	
	撮影	min	105	35	検査箇所1箇所あたり5分
	報告書作成	min	60	60	
	計	h	3.25	2.08	
人工	検査帳票作成	人	1	1	-
	検査	人	3	1	-
	報告書作成	人	1	1	-
	計	人	5	3	-

◇写真整理

従来技術の条件は、日本マイクロソフト株式会社「AI を使って早く帰ろう——竹中工務店が建設現場へのディープラーニング導入で目指すもの」²⁾を参考に設定した。

整理作業を 1h/week, 1 人工とし、全工程中 1～9 月(準備工～橋面工, 盆・正月・GW で 3 週間除外→36 週間)と仮定する。これに対して、AI を使用して自動判別, 自動整理を行うことにより, 整理作業が不要となる(人工 1 人→0 人)。

■効果試算結果

◇鉄筋検査

人 工 数 5 人→3 人

労務時間 3.25h→2.08h

∴ 生産性向上率 $1 - (2.08h / 3.25h \times 3 \text{ 人} / 5 \text{ 人}) = 162\%$

◇写真整理

人 工 数 1 人→0 人

労務時間 0 時間

∴ 生産性向上率 200%

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・現場写真は、膨大なデータの扱いと単純作業という点で AI との相性がよく、その低減効果の高さに加え、技術の取り入れやすさからも近い将来における普及が見込まれる。
- ・撮り忘れや重複した写真の整理, 失敗した写真の判別といった「不具合」に対応できるため, 省力化だけでなくデータの精度も向上すると考えられる。

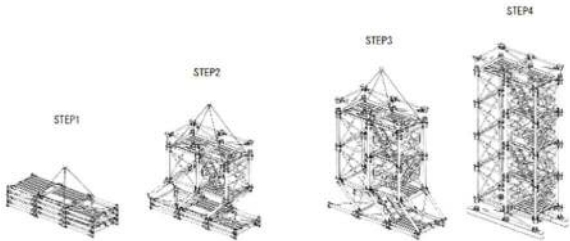
出典・参考資料

- 1) 鹿島建設株式会社 HP:「ステレオカメラを活用して配筋検査の大幅な省力化を実現！」
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201802/28c1-j.html>
- 2) 日本マイクロソフト株式会社「AI を使って早く帰ろう——竹中工務店が建設現場へのディープラーニング導入で目指すもの」
<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/1807/23/news003.html>
- 3) 東北コンクリート耐久性向上委員会:東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)-コンクリート構造物の耐久性向上に向けた取り組み-

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
足場支保工	支柱式支保工	組立・解体	危	中

問題点（課題）	部材の飛来落下（工具・仮設材等）
解決策	部材をユニット化し，部材数量を低減

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
従来の支柱式支保工は地上で仮組立を行い，必要な高さを接合し，組み立てていた。支柱式支保工の部材数が多く，組立・解体作業に多くの労力を要していた。また，細かな部材が多いため，組立・解体作業中に部材や工具が落下する危険性を要していた。   写真-1 支柱式支保工組立状況（提供：釘宮）	部材をユニット化することで部材数量，作業工程の低減を図る。  写真-2 ユニット式支保工組立状況 （提供：釘宮）  図-1 スタンディングベア施工ステップ図¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件²⁾

支保耐力: 29.4kN/m^2 以上 39.2kN/m^2 未満 ($32.0\text{kN/m}^2 = (2.81 \times 0.8 + 0.4) \times 11.16 / 9.06 \times 9.80665$)

改善前 $1802 \text{ 空 m}^3 = (11.16 + 2.4) \times (4.7 + 0.6) \times (11.54 + 1.0) \times 2$ (四角支柱)

改善後 $2092 \text{ 空 m}^3 = (11.16 + 2.4) \times (5.55 + 0.6) \times (11.54 + 1.0) \times 2$ (1 スパン 3 層を想定)

改善前設置撤去歩掛り(標準歩掛り): 7.43 人/100 空 m^3 改善後設置撤去歩掛り: 1.00 人/100 空 m^3

1 人作業時間: 8 時間

■効果試算結果

改善前工数: $1802 \times 6.49 / 100 = 117 \text{ 人工(936h)}$

改善後工数: $2092 \times 1.00 / 100 = 21 \text{ 人工(168h)}$

改善効果: $117 - 21 = 96 \text{ 人工減(768h 減)}$

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・ユニット化されることで部材数が少なくなり、高所作業を低減することが可能となる。安全性が向上する。
- ・部材数を低減することで作業ステップが短縮され、作業性が向上し、工程短縮につながると考えられる。
- ・ユニット(1.7t(1 スパン 3 層)～5.7t(3 スパン 5 層))が重量物であるため、解体時に使用可能な揚重機能力によって、ユニットサイズを選定する必要がある。
- ・支柱式支保工だけでなく、くさび式支保工のユニット化を行うことで、足場支保工の更なる生産性向上や安全性向上が期待できる。

出典・参考資料

- 1) スタンディングベア カタログ/株式会社タカミヤ
- 2) (一社)日本建設機械施工協会発行 橋梁架設工事の積算 令和元年度版 p.3-210～p.3-227

(ア) 支保耐力

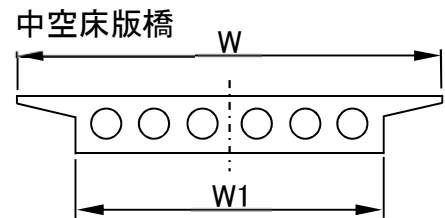
支保耐力は、次式による。

$$P = (2.81 \times d + 0.4) \times W / W_1 \times 9.80665 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

d : 平均コンクリート厚 (m)

W : 橋体幅 (m)

W₁ : 中央床版幅 (m)



(イ) 支柱式支保工数量

支柱式支保工の施工量は、次式による。

開口部が1部分の場合

$$V = (W + 2.4) \times H \times (\ell + 1.0) \text{ (空 m}^3\text{)}$$

W : 橋体幅 (m)

H : 支柱支保高さ H = h + A (m)

h : 開口部高さ (m)

A : 主桁高さ (m)

ℓ : 開口部延長 (m)

(ウ) 設置撤去歩掛り

支柱支保設置撤去工歩掛

(100空m³当り)

開口部延長 (m)	平均支保高さ (m)	名 称	単位	支 保 耐 力 kN/m ² (t/m ²)			
				19.6以上 29.4未満 (2.0以上 3.0未満)	29.4以上 39.2未満 (3.0以上 4.0未満)	39.2以上 49.0未満 (4.0以上 5.0未満)	49.0以上 58.8未満 (5.0以上 6.0未満)
7 以下 10 以下 13 以下	1.5 以上～4.6 未満	橋 梁 世 話 役	人	1.27	1.47	1.71	1.91
	1.6 以上～4.8 未満	橋 梁 特 殊 工	〃	6.36	7.30	8.47	9.40
		普 通 作 業 員	〃	5.09	5.85	6.78	7.51
13 以下	1.8 以上～4.8 未満	ラフテレーンクレーン 運 転	日	1.25	1.44	1.63	1.77
7 以下 10 以下 13 以下	4.6 以上～7.6 未満	橋 梁 世 話 役	人	0.65	0.74	0.87	0.97
	4.8 以上～7.8 未満	橋 梁 特 殊 工	〃	3.24	3.72	4.30	4.79
		普 通 作 業 員	〃	2.60	2.97	3.43	3.83
13 以下	4.8 以上～7.8 未満	ラフテレーンクレーン 運 転	日	0.63	0.74	0.83	0.91
7 以下 10 以下 13 以下	7.6 以上～10.6 以下	橋 梁 世 話 役	人	0.44	0.50	0.58	0.65
	7.8 以上～10.8 以下	橋 梁 特 殊 工	〃	2.19	2.50	2.91	3.22
		普 通 作 業 員	〃	1.75	2.01	2.33	2.58
13 以下	7.8 以上～10.8 以下	ラフテレーンクレーン 運 転	日	0.43	0.50	0.57	0.61

(注) 1. 労務及びラフテレーンクレーンの歩掛は、設置及び撤去の合計であり、構成は設置54%、撤去46%である。

項目		改善効果	
		働き方改革	
		生産性向上	
		(h)	(人工)
①	AR技術によるクレーンの可視化	24	3
②	鉄筋結束の自動化	464	58
③	自動緊張による労力および危険作業の低減	65	8
④	3Dプリンタ	872	109
⑤	自動追尾式光波測距測角(自動追尾TS)による測量作業ワンマン化	48	6
⑥	測量の自動化・GPS測量・AR技術の活用(均し)	16	2
⑦	温度管理の自動化, 遠隔操作(養生)	208	26
⑧	3Dレーザースキャナー	5.3	1
⑨	ステレオカメラとタブレット端末を使用した配筋検査 AIを使用した写真整理	24	3
⑩	ユニット式支保工を採用	768	96
合計		2494.3	312

(4) 期待される技術

「期待される技術」の一覧を表 2-8 に示す。その詳細結果は次頁より、一覧表に示した期待される技術の番号順に示す。

本資料は、現状では実用化が出来ないが、今後技術発展し実用化され建設業へ応用した場合、生産性向上、働き方改革の促進に貢献すると考えられる技術である。

表 2-8 B 班期待される技術一覧

番号	期待される技術	
A	課題	鉄筋置き場からの荷揚げ，人力での運搬
	解決案	RFID タグを利用し自動運転機能を備えたロボットによる資材運搬
B	課題	鉄筋組立順序の間違いによる手戻り
	解決案	スマートフォンカメラによる鉄筋形状の確認（ZOZOMAT）
C	課題	円筒形型枠吊り込み時の挟まれ防止
	解決案	円筒型枠に軽量の紙パウダー入りプラスチック成形材を採用
D	課題	手測定の減少，精度向上，工期短縮
	解決案	測定の自動化・GPS 測定・AR 技術の活用（無人自動運転）
E	課題	調書作成の省力化の検討
	解決案	AI による調書の自動作成
F	課題	現場立会い回数の削減
	解決案	5G による自由視点映像を活用した立会検査，パトロール

A RFID タグを利用し自動運転機能を備えたロボットによる資材運搬

現場での作業は、各工種により様々な材料、機械、工具が必要となる。これらのうち携帯可能な小型の工具以外は、所定の場所に保管され、作業時に必要なものをピックアップし、作業位置まで運び使用する。

こういった作業前の準備工ともいえる資材移動作業を、ロボットにて行う事により作業員の労力、作業時間を削減することが可能となると考えられる。

作業内容毎に必要な材料、機械を記憶させたロボットに、作業工程をインプットすることで作業開始前に所定の位置に運搬を完了させる。材料の入荷時には RF タグを設置することにより材料の位置が把握できるようにしておく。こうすることで、日々の作業により材料保管場所が変化した場合も確認することが可能となると考える。現状は、通信距離が数十メートルのため現場への適用には通信距離を広げる必要があると考える。また現場は様々な物があるが、自動車業界の自動運転技術を応用することで障害物を検知しながら運搬することが可能となるのではないかと考える。

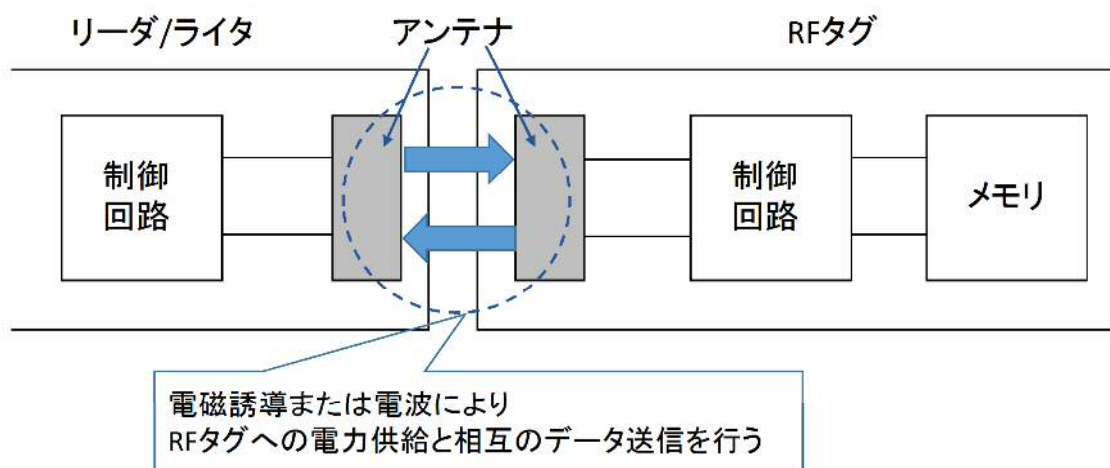


図 2-6 動作原理

【RFID タグ・リーダ : <https://www.denso-wave.com/ja/adcd/fundamental/rfid/rfridtec/index.html>】

【三菱電機株式会社：ニュースリリース 2019 年 10 月 21 日 自動運転「xAuto」搭載の新技术開発のお知らせ

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2019/pdf/1021.pdf>】

B スマートフォンカメラによる鉄筋形状の確認（ZOZOMAT）



写真 2-1 ZOZOMAT

周辺をスマートフォンカメラで撮影することで、マット全体に施されたドットマーカを読み取り、足の 3D モデルを作成し、寸法もミリ単位まで計測することが出来る。

ZOZOMAT のようにスマートフォンで撮影するだけで鉄筋形状の確認や組立て状況を簡単に確認することが出来れば、確認や検査を簡略化することができ、生産性向上に繋がると考えられる。

現状、図面に基づいて鉄筋組立てを行っている。同一形状であっても寸法が異なる鉄筋があり、種類が増えると鉄筋組立て時に人為的ミスが発生しやすくなる。また、鉄筋組立て検査では 1 箇所当り縦方向、横方向、前面、背面等複数の箇所を検測する必要があり、労力を要することが多い。

スマホで簡単に足の 3D サイズが計測できる「ZOZOMAT」はマットの上に足をのせ、足の

【株式会社 ZOZO : ZOZOMAT <https://zozo.jp/zozomat/>】

C 円筒型枠に軽量の紙パウダー入りプラスチック成形材料を採用



写真 2-2 紙パウダー入り発泡材製品
earth republic

汎用プラスチック原料と比較し、CO2 排出量を約 28%削減することに成功している。建設業で利用されるボルト・ナットにも利用範囲が拡大されれば、生産性向上に繋がる。

円筒型枠に軽量の紙パウダー入りプラスチック成形材料である新素材紙発泡体を採用し、設置作業を人力で行うことで、生産性向上を行う。円筒型枠が軽量となることから、設置時重機が不要となり、円筒型枠吊込み・設置時挟まれリスクが無くなり、安全性が向上し、働き方改革の促進に繋がる。

新素材紙パウダー入り成形材料は環境性にも優れ、リサイクル法に対応した「紙製品」であることから、可燃物として処理が可能である。焼却時にダイオキシンなどの有害ガスを発生せず、

【株式会社環境経営総合研究所：世界でただ一つの新素材 新素材パウダーMAPKA
<https://ecobioplastics.jp/products/mapka.php>】

D 測定の自動化・GPS 測定・AR 技術の活用（無人自動運転）

コンクリートの均し作業は人力による部分が大きく、打設面積が広がるほど、均し作業の人員、労力を要しているのが現状である。作業ロボットの開発は進められてきているが、均し作業は、硬化前の軟らかいコンクリート上を移動するなど複雑な動きが求められるため、建設業の既存の技術のみでの開発は限界があり、他業界の技術を積極的に導入していく必要があるといえる。ここでは無人自動運転の技術が目まぐるしい自動車分野の技術導入について考察する。

自動車分野の無人自動運転技術の進歩は目まぐるしく、ミリ波レーダーやカメラを使った自律型走行技術を強化することで、地図情報がない一般道の走行や、屋内や屋外を問わない無人自動駐車などが可能になってきている。また準天頂衛星から送信される信号と高精度の3次元地図を組み合わせた技術の活用も進められている。

この他業種の技術である無人運転技術と画像を判断する AI 技術を組み合わせ、コンクリートの均しを完全に自動化する機械を開発することで、作業の省力化を図れる他、作業員の技術に捕われない均一な均らしが可能になるといえる。

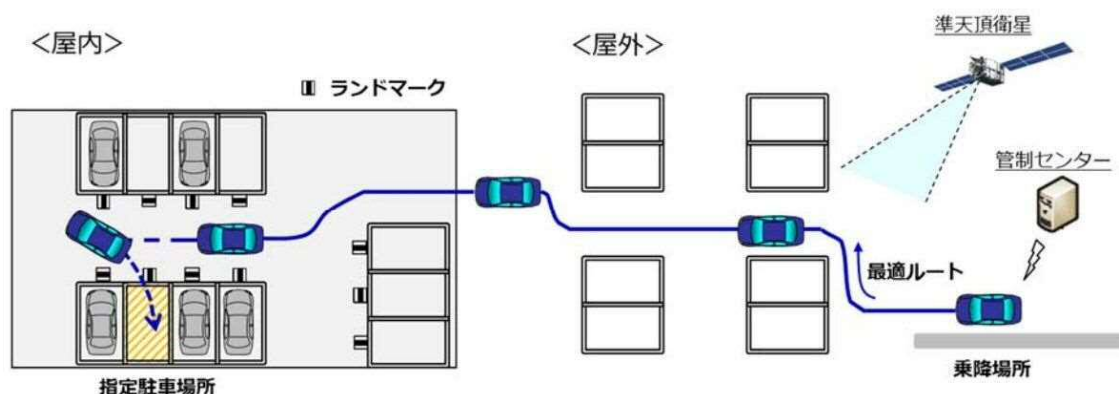


図 2-7 無人自動運転概要図

【三菱電機株式会社：ニュースリリース 2019 年 10 月 21 日 自動運転「xAuto」搭載の新技術開発のお知らせ

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2019/pdf/1021.pdf>】

E AI による調書の自動作成

調書の作成は現地で出来形等の情報の記録を行い、事務所に戻ってエクセルやワードに入力し作成している。情報の採取に電子黒板を使用する写真撮影を行うことで、写真データに調書作成で必要な情報を持たせることができる。写真データの情報から AI が工種や写真の内容を識別し、調書を作成することが可能となれば、省力化技術として大いに期待できる。

F 5G による自由視点映像を活用した立会検査，パトロール

KDDI が取り組む自由視点映像は、「タイムスライス自由視点」と「自由視点 VR」の二種に大別される。「タイムスライス自由視点」は「4D REPLAY」が採用する方式であり、短い処理時間で自由視点映像を生成し、様々なカメラアングルで映像を鑑賞することができる。「自由視点 VR」は KDDI 総合研究所の技術であり、複数のカメラの映像から抽出した選手などの人物領域やスタジアム背景を、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)モデルで表現することにより、実際にカメラ映像がなくてもあらゆる視点からの映像視聴を少ないカメラ台数で実現。



図 2-8 システム構成

以上の技術を活用すれば、将来的に誰も現場に足を運ばなくても立会検査や安全パトロール等に活用できる可能性がある。

【KDDI 株式会社：「プロ野球を好きな角度でライブ観戦，世界初，「5G」で自由視点映像のリアルタイム配信に成功」

<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/06/27/3225.html>】

(5) 考察

本資料は、ケーススタディによる試算、期待される技術の調査を行い、建設業の生産性向上及び働き方改革の現状や将来について考察した資料である。

ケーススタディ①計画、③緊張管理、⑤⑥測量、⑧⑨日常管理は現場管理に関するソフト面での改善項目となっており、生産性向上の効果は小さいが、現場管理を行う職員の負担軽減や作業員の安全性向上につながる。例えば IT 技術を用いて現場から離れた場所で現場管理を行うことで、職員の移動による負担が軽減される。また、安全に現場事務所等で現場管理業務を行うことが可能となれば、妊娠出産というライフステージの変化により離職していた女性職員のキャリア継続の幅が広がることが考えられる。加えて、作業員の危険・苦渋作業も軽減され、安全性も向上することから、働き方改革への効果は大きいと考えられる。ただし、各作業や管理を自動化で行う場合、効率は上がる一方、技術者の技術力低下が懸念されるため、職員や作業員に対する教育を充実することが課題であると考えられる。

ケーススタディ②鉄筋組立、⑦コンクリート養生、⑩支保工組立は、橋梁の構築に直接的に関係するハード面での改善項目であり、生産性向上の効果は比較的大きいと考えられる。また、構造物の規模が大きくなるほど改善効果は大きくなると考えられる。ただし、機械の誤作動やエラーに対するリスク管理やフェールセーフが課題であると考えられる。

ケーススタディによる試算から、どの工種でも作業の省力化、省人化が図れ、人工数の削減が可能になることがわかった。ただし、今回対象としたモデル橋梁のような中規模橋梁では、大幅な生産性向上が可能となるような技術を見つけることは難しかったため、今後期待される技術を活用し、生産性向上や働き方改革を進める必要があると考えられる。

今後期待される技術の中で、中規模橋梁において大幅な生産性向上が可能となる技術として、ケーススタディ④で 3D プリンターを挙げた。3D プリンターでの桁製作は、現場の施工工程に縛られないため、工程短縮に大きな効果があり、生産性向上が実現できることが考えられる。また、型枠の加工・組立・解体作業が不要となるため、中規模橋梁においても大幅な生産性向上につながると考えられる。加えて、建設廃棄物を大幅に削減できることから、環境負荷低減にも大きな効果が期待できるものと考えられる。具体的な桁製作方法や鉄筋配置方法は不明であるが、現時点でオランダの歩行者・自転車橋や中国・天津市のプレハブ式コンクリート歩道橋での適用実績が確認されており、今後我が国の道路橋へ適用することが可能となれば大幅な生産性向上が期待できる技術であると考えられる。そのためには、国内発注機関で決められている設計・施工基準を満足できるかが課題であると考えられる。

期待される技術で挙げた項目からも、建設業界における生産性向上を目的とした新技術の研究、開発および導入は他分野と比較して遅れていることが分かった。他分野で先行導入されている技術を取り入れ、ブラッシュアップし、建設業界に適応させていくことが大きな課題であると考えられる。

出典

【3D プリンター製のコンクリート橋が天津にお目見え、全長 28.10m
<https://www.afpbb.com/articles/-/3251170>】

2. 2. 3 4 径間連続 PC 箱桁橋（固定支保工式架設工法）C 班

(1) モデル橋梁構造と基本条件

モデル橋梁の基本条件を表 2-9 に示す。モデル橋梁の一般図を図 2-9 に示す。

表 2-9 C 班モデル橋梁設計条件

橋長	L=180.000m	
有効幅員	B=10.560m	
平面線形	R=∞	
斜角	$\theta = 90^{\circ} \ 0' \ 0''$	
形式	上部工	4 径間連続 PC 箱桁橋
	下部工	橋台：逆 T 式橋台，橋脚：壁式橋脚
	基礎	橋台：場所打ち杭（ $\phi 1200$ ），橋脚：場所打ち杭（ $\phi 1200$ ）
架設工法	固定支保工式架設工法	
その他条件	①交差道路有り（A1~P1 間）	
	②桁下高さは 9m 程度	
	③桁間毎に 4 分割施工	
	④クレーン等設置可能（ヤード有）	
	⑤他業者との競合無し	
	⑥積雪寒冷地	
	⑦内外ケーブル併用 内ケーブル：裸線+グラウト 外ケーブル：ECF ストランド	
	⑧横締め鋼材間隔 500mm	
	⑨平均鉄筋量は 150kg/m ³	
	⑩付属物関係 ○対象：壁高欄，支承，伸縮装置，落下物防止柵， 落橋防止装置，はく落防止工 ○対象外：排水装置，桁端防水工	

C 班モデル橋梁

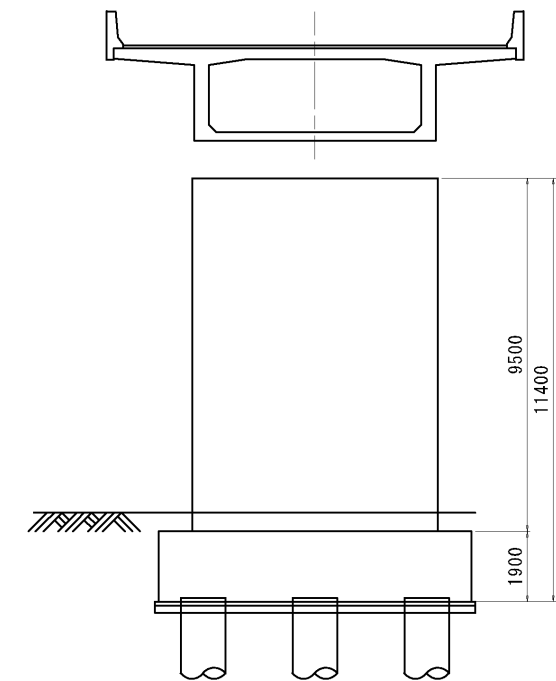
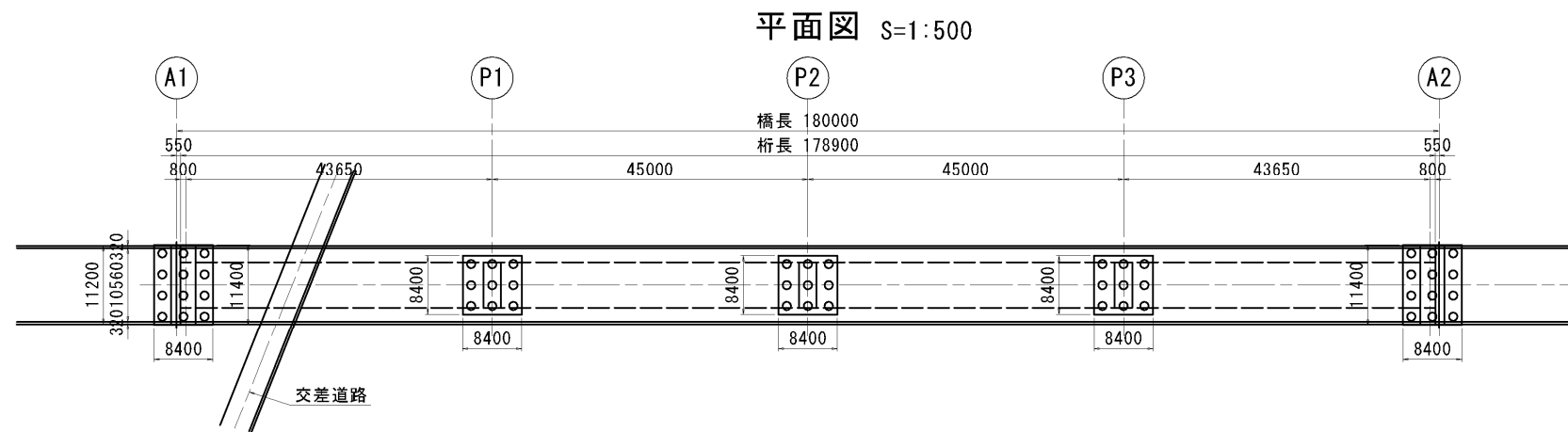
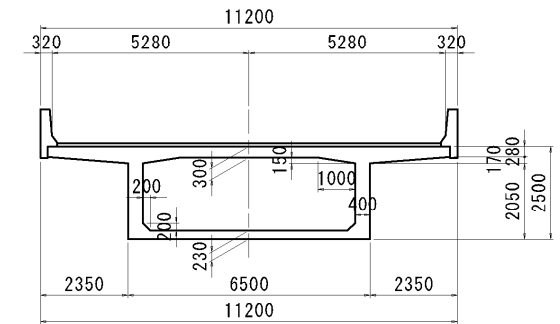
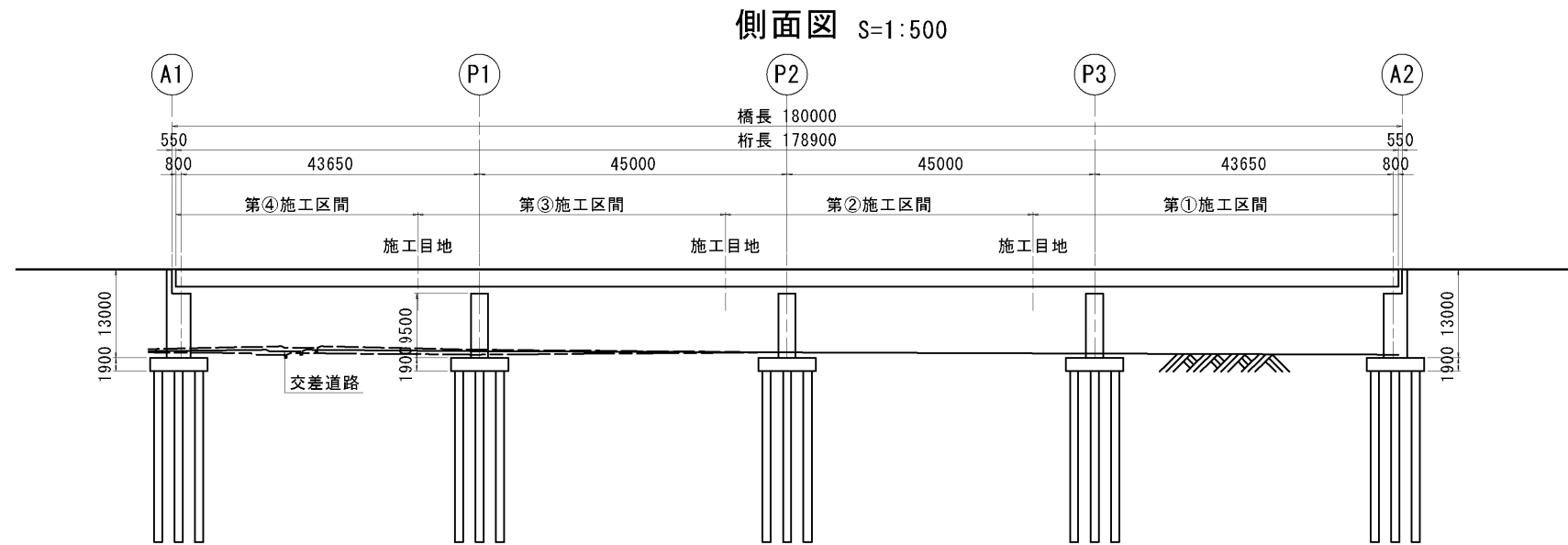


図 2-9 C 班モデル橋梁一般図

(2) 課題の抽出と解決案

モデル橋梁の施工において、生産性を考える上での問題点や課題の抽出結果、および解決策を一覧にまとめ記載する。

モデル橋梁施工に伴う問題点（課題）と解決案一覧表

モデル橋梁：4 径間連続P C 箱桁橋（場所打ち工法）
架設工法　：固定支保工
現場条件　：寒冷地、住宅密集地　など

< 問題種別凡例 >

工程短縮（省力化）したい作業	管理（品質、出来形、安全等） の省力化を図りたい作業	その他
危険作業	苦渋作業	

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題点（課題）	問題解決 期待度	解決策	ケース スタディ	今後期待 される 技術	
準備工	測量		危	橋脚上などで足場がない状況で起工測量をせざるを得ない状況がある 親綱など安全設備の設置が難しい場合がある	大	UAVを用いた3Dスキャナー、写真測量の活用	①		
					小	高所作業車の活用	②		
			苦	測量作業は単純作業の繰り返しである また、基準点が離れているなど移動距離が長い場合がある	中	自動計測システムの利用、ワンマン測量の活用			
					大	GNSS（GPS）測量の活用		A	
P C箱桁橋	支保工	組立解体	他	橋梁脇（側道）にヤードの確保が必要となる	-	-			
			危	工	支保工組立解体時の高所作業・交差道路に対する協議・計画	中	手すり先行システム足場（安全性向上、作業効率向上）		
	型枠工	組立解体	苦	箱桁内部の狭隘な環境での型枠支保工作業・墨出し作業が負担	大	埋設型枠の使用（施工性向上）	③		
			苦	他	コンクリート表面の気泡や砂目地の補修・後埋め作業が必要になることがある	中	透水機能を有する型枠（施工性向上）		
						中	コンクリート型枠ジョイント止水テープ		
			苦	型枠材や鋼管などの重量物の運搬や単純作業の繰り返し	大	アシストスーツの活用		B	
			他	箱桁橋は支保工上の資材置き場がない	小	1リフトの型枠組立時に、上床版の張出床版を組み立てて、資材置き場とする			
			苦	墨出し	小	ワンマン測量の活用			
					中	MR（複合現実）技術を活用した墨出し		C	
			工	他	除雪作業	中	防寒囲いの設置		
	鉄筋工	組立	苦	鉄筋は重量物であり運搬や組立は重労働となる	大	機械化（ロボット化）、パワースーツの活用			
					大	材料の軽量化（アラミド、CFCC etc）		D	
			苦	工	床版などでは中腰での結束作業を強いられる	大	組立ロボットによる無人作業	④	
						小	自動鉄筋結束機の活用	⑤	
			危	箱桁のスターラップは高いため、鉄筋組立時に不安定となり転倒する恐れがある	小	段取筋（エポキシ鉄筋）を活用する 側枠のPコンにエポキシ鉄筋を段取筋として固定し、スターラップの転倒を防止 また底版についても段取筋を配置			
			工	他	鉄筋干渉による手戻り・鉄筋取り合いのチェック	中	3DCAD使用によって干渉のチェック	⑥	
			管	鉄筋のマーキングや鉄筋間隔用スケールの設置などが手間	大	配筋検査システムの使用	⑦		
	コンクリート工	打設	他	シースなどが密に配置されるため、充填不良が生じる懸念がある 特に、横桁部の底版付近は支承の補強筋等が密になる	小 中	ウェブや横桁の下部については、型枠（外部）バイブレータや、軽便バイブレータを併用する コードレス高周波バイブレータを用いて省人化を図る			
			工	壁高欄部の水平打継目の処理	小	ジョイントエース等の打継目処理剤の散布により、ハイウォッシャーによるレイタンス処理作業を省力化			
			管	打設時間（生コンの運搬時間や打設完了時間）、性状確認の管理	小	GPSやICタグを活用した生コン車の運行管理 連続式RIコンクリート水分計によりコンクリートの品質管理			
					中	バイブレータの軽量化、パワースーツの活用			
			大	自己充填コンクリートによる締固め作業の省力化		E			
			苦	長時間、バイブレータを持ち続けなければならない	大	コンクリート打設仕上げ自動化		F	
		養生	苦	休日でも養生のために現場にでなければならない	中	センサーを活用した自動散水装置など			
			工	他	冬期養生	小	無線式の養生温度管理システムなど		
	P C工	組立	管	他	コンクリート打設前の定着具固定、切欠き形状の決定 定着工法の違いによる縁端距離、定着具間隔の確認、棚筋の墨出し	中	CIMモデルを作成して、切欠き形状や干渉等を事前に確認する。 内ケーブル、横締めケーブルの棚筋もモデル化して、作業指示の効率化を図る		
			管	他	PC鋼線の挿入までの保管、養生、通線、切断に手間がかかる	小	PC鋼材倉庫の設置		
						小	PC鋼材の一括挿入	⑧	
			工	危	箱桁内での重量物である緊張ジャッキの据付作業	小	ジャッキの搬入出用の上床版作業開口部や油圧ホース、グラウトホース用の作業孔の設置 緊張ジャッキの据付用のインサートの設置		
						大	ジャッキセットの自動化		G
緊張		管	繰り返し作業となる緊張管理作業	中	デジタル機器を用いた自動緊張管理による緊張管理の省力化				
書類、調書	立会検査		管	立会時において待ち時間が発生する	中	タブレットカメラを用いて遠隔地（事務所）から立会に参加	⑨		
	調書作成		管	調書作成の省力化	小	市販の出来形管理システムを使用 あらかじめExcelで作成したオリジナルの出来形管理・品質管理帳票をシステムに取り込むことも可能			

(3) ケーススタディ

ケーススタディの一覧を表 2-10 に示す。その詳細結果は次頁より、一覧表に示したケーススタディの番号順に示す。

表 2-10 C 班ケーススタディ一覧

番号	ケーススタディ	
①	課題	安全設備の設置が難しい中での起工測量
	解決案	UAV を用いた 3D スキャナー，写真測量の活用
②	課題	安全設備の設置が難しい中での起工測量
	解決案	高所作業車の活用
③	課題	箱桁内部の狭隘な環境での型枠支保工作业・墨出し作業が負担
	解決案	埋設型枠の使用（施工性向上）
④	課題	鉄筋工の組立時の労力，危険作業低減
	解決案	組立ロボットによる無人作業
⑤	課題	床版などでは中腰での結束作業を強いられる
	解決案	自動鉄筋結束機の活用
⑥	課題	鉄筋干渉による手戻り・鉄筋取り合いのチェック
	解決案	3D-CAD 使用によって干渉のチェック
⑦	課題	鉄筋のマーキングや鉄筋間隔用スケールの設置の手間
	解決案	配筋検査システムの使用
⑧	課題	PC 鋼線挿入の効率化
	解決案	PC 鋼材の一括挿入
⑨	課題	立会時において待ち時間が発生する
	解決案	タブレットカメラを用いて遠隔地（事務所）から立会に参加

ケーススタディ C班① モデル橋梁 4 径間連続 PC 箱桁橋（場所打ち工法）

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
準備工	測量	起工測量	危険作業	大

問題点（課題）	橋脚上などで足場がない状況で起工測量をせざるを得ない状況がある 親綱など安全設備の設置が難しい場合がある
解決策	UAV を用いた 3D スキャナー、写真測量の活用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
三脚上に据え付けたトータルステーション・レベルなどの測量機器を扱う者の他、プリズムやスタッフを持つ人が、橋脚上に昇って作業する。  写真-1 従来測量（提供：東委員）	UAV(ドローン)に GNSS/IMU, レーザスキャナなどを搭載し、飛行させながらレーザ計測を行う。自己位置姿勢などを正確に取得し、調整計算や解析を行うことで高精度高密度な 3 次元点群データを取得する。  写真-2 UAV 機体¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件: 橋脚高さ 9.5m, 橋脚高さ, 橋脚間距離, 座標等の測量

■効果試算結果

従来技術: 最低2人以上での作業となる。(2 人×3 日)

- ・橋脚上の測量は、高所での作業となり危険をとまなう
- ・足場がない状況では足場を組み立てが必要となる(+7 人工×3 橋脚)

新技術: 最低 1 人でも作業可能(1 人×1 日+データ処理 2 日)

- ・地上からの操作で測量が可能のため安全
- ・足場がない状況でも測量可能

① 現場での測量作業

【従来技術: 2 人工×3 日=6 人工 → 新技術: 1 人工(現場での作業 83%減)】

② 足場組み立て(必要な場合)

【従来技術: 足場組立 7 人工×3 橋脚=21 人工 → 新技術: 0 人工(21 人工減)】

その他（考察・留意点・将来性等）

作業の省力化や安全性確保には大きな効果があるが、現段階では従来技術に比べ精度が劣る。
また、データの送信・処理時間の短縮も今後の課題である。現段階では風が強い日や雨の日は飛ばせないなどの制約があるが、国土交通省の河川巡視に全天候型ドローンが採用されるなど、風雨の条件でも飛ばせる機種も開発されている。今後測量精度が向上すれば将来性は十分にあると考えられる。

出典・参考資料
1) DJI JAPAN 株式会社: Inspire 2 https://www.dji.com/jp/inspire-2

ケーススタディ C班② モデル橋梁 4 径間連続 PC 箱桁橋（場所打ち工法）

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
準備工	測量	起工測量	危険作業	小

問題点（課題）	橋脚上などで足場がない状況で起工測量をせざるを得ない状況がある 親綱など安全設備の設置が難しい場合がある
解決策	高所作業車の活用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
 写真-1 従来方法（昇降階段を設置） （提供：村井委員）	 写真-2 高所作業車¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

橋脚高さ 10mとし、昇降階段の設置・橋脚周り足場の設置と経済比較

高所作業車の使用日数は4日（起工測量、支承設置、沓座モルタル打設、沓座型枠脱型各1日）

高所作業車は幅広床仕様とする。

■効果試算結果

◆従来方法（測量および支承設置用に足場を設置）

項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要
登り桟橋工						
足場賃料		1	月	80,330	¥80,330	
労務費	橋梁特殊工	7.34	人	29,700	¥217,998	
小計					¥298,400	
橋脚回り足場ブラケット工						
足場ブラケット工	1ヶ月	24	m	13,790	¥330,960	
小計					¥330,960	
合計					¥629,360	

◆高所作業車使用

項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要
賃料	トラック架装リフト 幅広仕様 10～12m	4	日	33,000	¥132,000	
合計					¥132,000	

効 果： 足場の組立に伴う墜落などの危険を削減

経済性： 1箇所あたり約50万円×3橋脚で150万円の費用削減

人員： 7人×3橋脚＝21人工程削減

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・留意点としては、橋脚下部に高所作業車が進入できる道路・スペースが必要であること、操作者には特別教育(10m未満のみ操作可)、技能講習等の資格が必要となる。
- ・橋脚高さや使用用途、使用期間、回数によっては昇降階段を設置する方が、効率的・経済的になることもあるので、検討を要する。

出典・参考資料

- 1) 株式会社アイチコーポレーション:スカイマスター TZ12C1RR

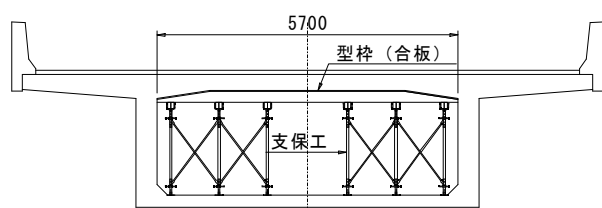
工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
PC 箱桁橋	型枠工	組立解体	苦渋作業	大

問題点（課題）	箱桁内部の狭隘な環境での型枠支保工作业・墨出し作業が負担
解決策	埋設型枠の使用（施工性向上）

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術

・従来案



- ・箱桁内支保工を組立て、型枠を設置する。
- ・コンクリート打設後、支保工・型枠を搬出する。

図-1 従来支保工＋従来型枠

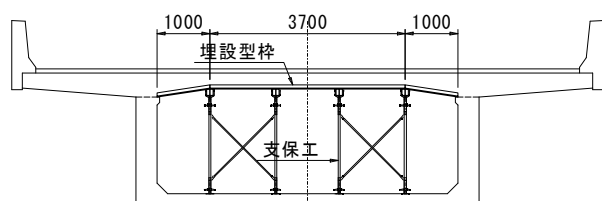


生産性向上技術

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

・改善案①



- ・セメント押し出し成形板を埋設型枠として使用し、中間床版打設時の型枠（合板）を無くす。
- ・支保工数量が減少する。また、箱桁内より撤去する部材が支保工のみとなる。

図-2 従来支保工（減）＋埋設型枠

・改善案②

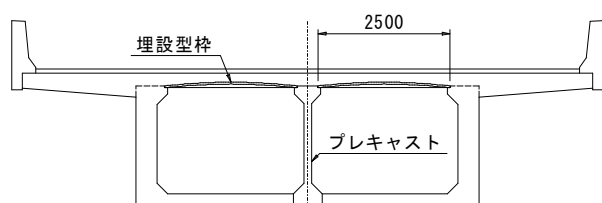


図-3 PCa ウェブ支保工＋埋設型枠

写真-1 押し出し成形板（リブ付きアーチ形状）¹⁾

- ・床版支間中央部にプレキャストウェブを支保工として設置し、アーチ形状で下面にリブを取り付け適用支間を 2.50m 程度としたセメント押し出し成形板を埋設型枠として使用することで中間床版打設時の型枠を無くす。
- ・プレキャストウェブが残置され2室箱桁となるが箱桁内より撤去する部材がなくなる。

■効果試算結果

以下の比較は、積算基準書^{2~3)}の内容を元に算出した。

中間床版面積 : 178.9m×5.7m = 1020m²【従来案・改善案①】

: 178.9m×2.5m×2 = 895m²【改善案②】

箱桁内空立米 : = 1975m³【従来案・改善案①】

◆従来方法

項 目	仕 様	数 量	単 位	単 価	金 額	摘 要
材料費	型枠製作	1,020	m ²	7,420	7,568 千円	労務: 275.4 人
労務費	組立払工	1,020	m ²	11,980	12,220 千円	労務: 510 人
労務費	転用補修工	1,020	m ²	963	982 千円	労務: 38.76 人
支保工	労務費・損料含む	1,975	m ³	4,057	8,013 千円	労務: 237 人
総 数					28,782 千円	労務: 1061.2 人

◆改善案①

項 目	仕 様	数 量	単 位	単 価	金 額	摘 要
材料費	セメント押し出し成形板 KKF-60-300	1,020	m ²	15,000	15,300 千円	
労務費 ⁽¹⁾	組立工	1,020	m ²	8,386	8,554 千円	労務: 357 人
支保工 ⁽²⁾	労務費・損料含む	1,975	m ³	3,246	6,411 千円	労務: 189.6 人
総 数					30,265 千円	労務: 546.6 人

(1)組立工のみとなるので、従来工法の組立払工の 70%と設定

(2)必要支保工量が従来工法より減想定されるので、従来工法の 80%と設定

◆改善案②

項 目	仕 様	数 量	単 位	単 価	金 額	摘 要
材料費	セメント押し出し成形板 RAF-450	895	m ²	24,000	21,480 千円	2.5m×0.45m
労務費	押し出し成形板設置工	794	枚	2,480	1,969 千円	労務: 46.918 人
労務費	押し出し成形板支承工	358	m	2,063	739 千円	労務: 6.086 人
労務費	中間ウェブ架設工	80	個	297,100	23,768 千円	労務: 47.056 人
総 数					47,956 千円	労務: 100.06 人

◆効果

	金 額	改善案/従来	労 務	改善案/従来
従来方法	28,782 千円	---	1061.20 人	---
改善案①	30,265 千円	105%	546.60 人	52%
改善案②	47,956 千円	167%	100.06 人	9%

従来方法に比べ、コストが増加するが必要となる労務が大幅に減少する。

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・改善案②では、中ウェブが増えてしまうため上部工の重量増加が懸念される。
- ・労務が大幅に減少するが、一工種のための減では、効果は限定される。
- ・プレキャスト、部分プレキャストなどの採用により現場での省力化につながる。

出典・参考資料
1) 西條龍ら:リブ付きアーチフォームを適用した RC 床版の開発, 構造工学論文集 Vol61A,pp1085-1094, 2015.3
2) 国土交通省 土木工事標準積算基準書
3) プレストレストコンクリート橋-場所打ち固定支保工工法

ケーススタディ C班④ モデル橋梁 4 径間連続 PC 箱桁橋（場所打ち工法）

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
PC 箱桁橋	鉄筋工	組立	苦渋作業	大

問題点（課題）	床版などでは中腰での結束作業を強いられる
解決策	組立ロボットによる無人作業

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
- 鉄筋組立はすべての工程において人力による作業を行っている。 - 中腰など体に負担のかかる態勢での繰り返し作業となり、作業員に苦渋作業を強いることとなる。 - 組み立てた鉄筋の上など足場の悪い箇所での作業が多く、安全性に問題がある。 - 作業員の熟練度により結束の品質や施工スピードにばらつきが出てくる。	- 上床版の PCa 版の鉄筋組立てにおいて鉄筋組立ロボットを使用することで、鉄筋の配置・結束を自動化することができる。 - 鉄筋の補充等、一部の補助作業を作業員が行うだけであるため、苦渋作業を軽減することができる。 - 人が介入せずに済むことから安全性の向上が見込める。 - 機械作業による品質の均一化と向上が見込める。
 写真-1 従来鉄筋組立 （提供：水田委員）	 写真-2 ロボットによる鉄筋組立¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

上床版の一部に PCa 版を使用すると仮定

二次製品床版, 30 枚/日の組立

■効果試算結果

従来:20 人工(8 時間稼働) → 新技術:3 人工(鉄筋補充)×3 交代(24 時間稼働)

省人化率:222%

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・PCa 床版の鉄筋組立てを作業員の手作業と比較し、同等の施工スピードを有しつつ、作業員の数を 20 人工/日→9 人工/日に半減させることが出来る試算となり、大幅な省力化が実現できると考えられる。
- ・作業員が行う作業は主に鉄筋の補充等、ロボットの補助作業となるため苦渋作業の軽減に寄与すると考えられる。ロボットの稼働中に鉄筋の加工等他の作業を行うこともできるため、生産性向上にも寄与すると考えられる。
- ・鉄筋の組立て作業は、作業員の熟練度によって結束のスピードや品質にばらつきが出るが、ロボットを使用した場合、品質の均一化を図ることができる。
- ・ロボットアームを天井に取り付ける構造であるため、工場製品以外(現場ヤード)での適用が難しく横桁やウェブ、下床版の鉄筋組立てへの適用ができない。
- ・PCa 床版での適用を前提とするため、他現場への流用が限定される。
- ・比較的配筋が容易である PCa 床版において適用としたが、今後の展望として床版のみならず全ての二次製品に対応できれば、更なる作業員の負担の軽減および生産性の向上が期待できる。仮に、PCa 壁高欄への適用を考えた場合、鉄筋の保持方法や組立て方が PCa 床版とは異なり複雑化するので、工夫が必要となる。
- ・現状、手作業による鉄筋組立てと同等程度の生産速度が見込まれているが、ロボットの改良により生産速度の高速化を図ることで、更なる生産性向上の実現が可能であると考えられる。

出展・参考資料

- 1)三井住友建設株式会社ウェブサイト:鉄筋組立自動化システム「RobotarasTM(ロボタラス)」の開発に着手
<https://www.smcon.co.jp/topics/2019/05151300/>

ケーススタディ C班⑤ モデル橋梁 4 径間連続 PC 箱桁橋（場所打ち工法）

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
PC 箱桁橋	鉄筋工	組立	苦渋作業 工程短縮	小

問題点（課題）	床版などでは中腰での結束作業を強いられる
解決策	自動鉄筋結束機の活用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）	
従来技術	生産性向上技術
 写真-1 従来方法 （提供：村井委員）	 写真-2 鉄筋結束機¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

結束点数: 鉄筋間隔を 250mm×125mm と仮定

1m²あたり 32 箇所(1 層)⇒64 箇所(2 層)

下床版面積: 178.9m×6.5m = 1163m²

上床版面積: 178.9m×11.2m = 2004m²

ウェブ面積: 178.9m×2.5m×2 = 895m²

合 計 : = 4062m²

結束点数 : 4062m²×64 箇所 ≒ 25 万箇所

■効果試算結果

NETIS:KT-160108-A を参考とした。

◆従来方法

項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要
材料費	結束線/なまし鉄線 #21, L=350mm	100,000	箇所	0.21	¥21,000	建設物価 2014.7(東京)
労務費	鉄筋工	130.21	人	25,700	¥3,346,397	公共工事設計労務単価 H28.2(東京)
総数					¥3,367,397	
日数					26.04 日	

◆自動結束機使用

項目	仕様	数量	単位	単価	金額	摘要
材料費	専用結束線/ なまし鉄線0.8mm	100,000	箇所	1.28	¥128,000	156結束/巻, 実勢価格 (50巻入¥10,000)
労務費	鉄筋工	86.81	人	25,700	¥2,231,017	公共工事設計労務単価 H28.2(東京)
工具代	RB-399A-BC2C/40A	5	台	162,000	¥810,000	実勢価格
総数					¥3,169,017	
日数					17.36 日	

効 果：

	10万箇所あたり			25万箇所あたり		
	金 額	日数	労務	金 額	日数	労務
従来方法	3,367千円	26.04 日	130.21人	8,418千円	65.1 日	325.53人
自動結束機使用	3,169千円	17.36 日	86.81人	7,923千円	43.4 日	217.03人
			効 果	-496千円	-21.7 日	-108.50人

自動結束機を使用することで

経済性：50万円程度向上

工程：22日程度短縮

人員：110人工程程度削減

になる。

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・留意点としては、雨の中では使用できないこと、結束径に制限があること、結束機を差し込めない過密配筋箇所では使用できないことが挙げられる。
- ・床版の配筋等では鉄筋結束機を使用するケースが増えている。ただ重量があるため、壁の鉄筋などに長時間使用すると苦渋作業となる。
- ・さらなる普及のためには結束機の小型化、軽量化により狭小箇所など適用範囲の拡大や負担軽減が望まれる。
- ・自動結束機をロボットに搭載した自動結束ロボットの開発も進んでいる。



写真-3 自動鉄筋結束ロボット²⁾

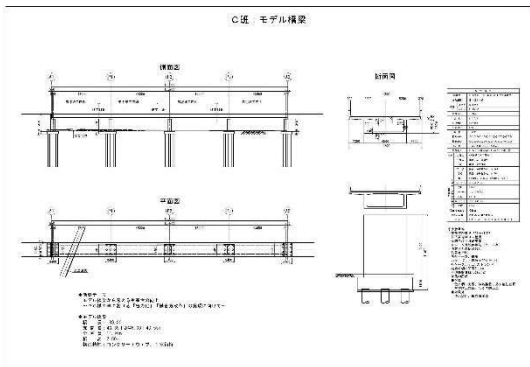
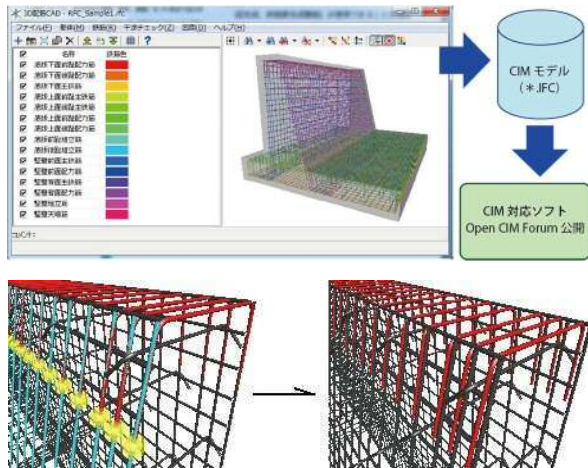
出典・参考資料

- 1) マックス株式会社ウェブサイト:鉄筋結束機 リバータイア
- 2) 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センターウェブサイト:プレス発表/2017 年 10 月 16 日/配布資料
https://www.furo.org/img/works/20171016t_irobo_rebar.pdf

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
PC 箱桁橋	鉄筋工	組立	工程短縮・その他	中

問題点（課題）	鉄筋干渉による手戻り・鉄筋取り合いのチェック
解決策	3DCAD 使用によって干渉のチェック

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
図面の配筋図、鉄筋の加工形状を担当者が確認し、干渉・鉄筋取り合い等の確認を行う。図面上のみの確認であるため、組立時に干渉等発生の可能性が高い。  図-1 従来方法（図面での確認）	3D 配筋 CAD は、土木構造物の躯体や鉄筋を実際の寸法で 3 次元表示することで、複雑な配筋状態を確認することができる。鉄筋の干渉チェックも可能である。  図-2 3D 配筋 CAD¹⁾

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

- ・コンクリート体積： $7.2\text{m}^2 \times 178.9\text{m} \div 1290\text{m}^3$
- ・鉄筋量： $1290\text{m}^3 \times 150\text{kg}/\text{m}^3$ （平均鉄筋量）＝ $193500\text{kg} = 193.5\text{t}$
- ・鉄筋工歩掛： 7.7 人工/ $\text{t}^{2)}$
- ・鉄筋の加工・組立の日当り施工量： $2.2\text{t}/\text{日}^{2)}$
- ・支承部鉄筋量： $7.2\text{m}^2 \times 8.4\text{m} \times 2 \div 60.5\text{m}^3$ ， $60.5\text{m}^3 \times 150\text{kg}/\text{m}^3 = 9075\text{kg} = 9.1\text{t}$

■効果試算結果

（従来技術）

1 日あたり人工数： $7.7 \times 2.2 = 16.9$ 人工

必要人工数： $193.5 \times 7.7 = 1490$ 人工

鉄筋加工組立日数： $1490/16.9 = 89$ 日

第① 施工区間支承部の過密配筋箇所を手戻りを想定した場合

手戻りで必要な人工数： $9.1 \times 7.7 = 71$ 人工

手戻りで発生する工期延長日数： $71/16.9 = 5$ 日

手戻り発生した場合の鉄筋加工組立日数： 89 日 + 5 日 = 94 日

(生産性向上技術)

3DCAD を使用した場合

1 日あたり人工数: $7.7 \times 2.2 = 16.9$ 人工

必要人工数: $193.5 \times 7.7 = 1490$ 人工

鉄筋加工組立日数: $1490 / 16.9 = 89$ 日

5 日間の手戻り作業が無く, 工程に影響を与えない。

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・図面照査の人員削減可能

- ・干渉チェックは容易であるが, ヒューマンエラー（入力ミス等）が懸念される。

出典・参考資料

1)株式会社フォーラムエイトウェブサイト:3D 配筋 CAD

<https://www.forum8.co.jp/product/uc1/cad/3Dcad.htm>

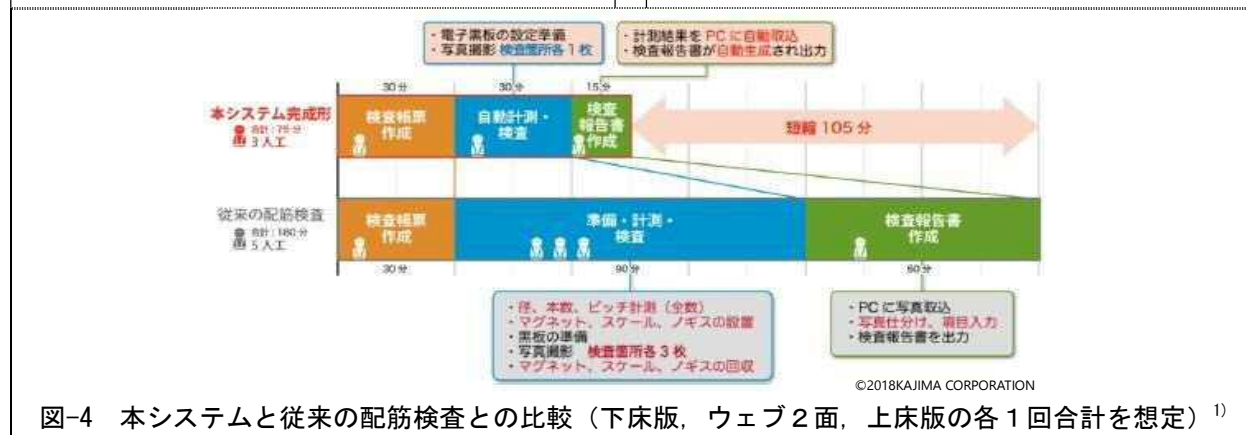
2)国土交通省:土木工事標準積算基準書(河川・道路編)2019 年度版

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
PC 箱桁橋	鉄筋工	組立（検査）	管理	大

問題点（課題）	鉄筋のマーキングや鉄筋間隔用スケールの設置などが手間
解決策	配筋検査システムの使用

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
配筋検査は、事前の準備から検査後の報告書作成まで、多くの時間と手間を要する。 特に、鉄筋径を区別するマーキングや、鉄筋の間隔を示すスケールスタッフの設置など、準備作業に多くの手間がかかる。  写真-1 従来の検査前準備作業¹⁾	ステレオカメラと画像処理技術を用いた自動配筋検査システム¹⁾を活用。 ①ステレオカメラで検査対象を撮影 ②3次元データがタブレット内部で自動生成 ③生成された3次元データから配筋された鉄筋のみが検出 ④検査範囲をタブレット画面上で指定 ⑤画像処理技術により、「鉄筋径」、「間隔」、「本数」が自動計測され画面上に表示 ⑥計測結果はデータとして記録  図-1 検査対象を撮影¹⁾  図-2 3次元データ生成¹⁾  図-3 画像処理技術により自動計測¹⁾



モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

- ・各径間, 鉄筋径の変化を考慮し, 各部位2回の検査を実施。
- ・各部位の検査は同時には実施しないが, 試算のため, 下床版, ウェブ2面, 上床版を1ユニットとして検討。
- ・橋梁全体として, 各径間2箇所×4径間=8ユニットの検査数とする。

■効果試算結果

- ・前段より, 1ユニットあたり 60 分の短縮が可能。
- ・橋梁全体として, 60 分×8ユニット=480 分(8時間)の短縮が可能。

その他（考察・留意点・将来性等）

考察・留意点

- ・鉄筋組立の作業者の軽減にはならないが, 管理側としては省力化が見込める。
- ・格子状の鉄筋は検出可だが, 幅止め筋などは別途検査が必要となる可能性がある。

将来性

- ・AI技術の活用による画像処理技術の更なる高度化
- ・検査報告書の自動作成機能の開発
- ・ステレオカメラ・タブレット端末の小型・軽量化
- ・発注者・施工者双方が検査結果の画像を遠隔で共有

出典・参考資料

- 1) 鹿島建設株式会社ウェブサイト: プレスリリース(ステレオカメラを活用して配筋検査の大幅な省力化を実現!)

<https://www.kajima.co.jp/news/press/201802/28c1-j.htm>

ケーススタディ C班⑧ モデル橋梁 4 径間連続 PC 箱桁橋（場所打ち工法）

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
PC 箱桁橋	PC 工	組立	管理・その他	小

問題点（課題）	PC 鋼線の挿入までの保管、養生、通線、切断に手間がかかる
解決策	PC 鋼材の一括挿入

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
 写真-1 プッシングマシン¹⁾ PC 鋼材の挿入作業を、プッシングマシンを用いて行う場合、1 本ずつ挿入している。	 写真-2 マルチプッシングマシン¹⁾ マルチプッシングマシンを用いて、PC 鋼線の本数に応じて、複数本の PC 鋼線を 1 度に挿入する。

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

- ・ケーブル種別 : 12S15.2
- ・支間長 : 178.9m
- ・ケーブル本数 : 4 本
- ・総PC鋼材延長 : $178.9 \times 12 \times 4 = 8587.2\text{m}$

■効果試算結果

- ・標準施行(シングルプッシングマシンを使用)

項目	仕様	数量	単位	単価(円)	金額(円)
施行日数	$8587.2 \div 7600$ = 1.13(日)	1.13	日	-	-
機械費	プッシングマシン(シングル)	1.0	台/日	12,000	13,559
労務費	橋梁特殊工	2.0	人/日	29,034	65,611
合計					79,169

・マルチプッシングマシン

項目	仕様	数量	単位	単価(円)	金額(円)
施行日数	$8587.2 \div 7600 \div 12$ = 0.09(日)	0.09	日	-	-
機械費	プッシングマシン(マルチ)	1.0	台/日	20,000	1,883
労務費	橋梁特殊工	2.0	人/日	29,034	5,468
合計					7,351

※日当たりの施行数量は施工実績より 7600m/日と仮定

その他（考察・留意点・将来性等）

考察・留意点

・検討ケースではケーブル本数が 4 本なので、実質機械損料で大きな差が出ない(計算上の施行日数が 0.09 日であろうと機械損料は 1 日分発生するため)。ただし、ケーブル本数が増えるほどより効果的になる。

例)

ケーブル本数	仕様	
	従来技術	生産性向上技術
4 本	$8587.2 \div 7600$ = 1.13 ≒ 2.00(日) 機械損料 = 24,000 円	$8587.2 \div 7600 \div 12$ = 0.09 ≒ 1.00(日) 機械損料 = 12,000 円
10 本	$21468 \div 7600$ = 2.82 ≒ 3.00(日) 機械損料 = 36,000 円	$8587.2 \div 7600 \div 12$ = 0.24 ≒ 1.00(日) 機械損料 = 12,000 円
20 本	$8587.2 \div 7600$ = 5.65 ≒ 6.00(日) 機械損料 = 72,000 円	$8587.2 \div 7600 \div 12$ = 0.47 ≒ 1.00(日) 機械損料 = 12,000 円
30 本	$8587.2 \div 7600$ = 8.47 ≒ 9.00(日) 機械損料 = 108,000 円	$8587.2 \div 7600 \div 12$ = 0.71 ≒ 1.00(日) 機械損料 = 12,000 円

・単純な挿入作業の比較しか行っていないので、ケーブルの配置等によっては実際の施行日数とは異なる可能性がある。

・マルチの場合、検討ケースを例にすると、12 本分の PC 鋼材を 1 度にプッシングマシンに設置する必要があるため、シングルと比べて作業スペースの確保が困難である。また、現在は取り扱っていない。

出典・参考資料

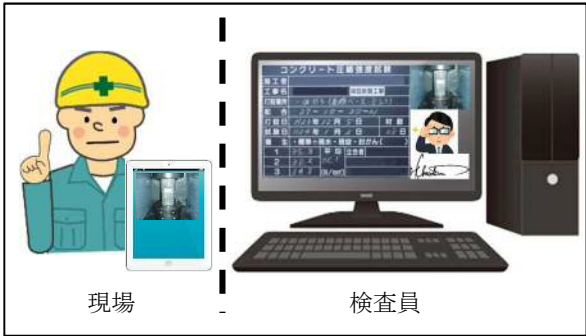
1)住友電気工業株式会社 特殊線事業部 製品情報より(現在は取り扱い無し)

https://sei.co.jp/steel-wire/products/pc/eng_works/prefab_cable.html

工種	名称（工種）	区分（作業）	問題種別	問題解決期待度
書類・調書	立会検査	立会	管理	中

問題点（課題）	立会時において待ち時間が発生する
解決策	タブレットカメラを用いて遠隔地（事務所）から立会に参加

生産性向上技術の概要（従来技術との比較）

従来技術	生産性向上技術
・現地にて発注者と構造物の実測値を測定し、立会を行う。 ・発注者が現場に足を運ぶ必要があり、工事事務所から現場までの距離が遠い場合、発注者の負担が発生する。	・タブレットのカメラ・マイク機能を用いて立会を行う。遠隔地にしながらリアルタイムの状況を把握し立会を受けることができる。 ・タブレット画面を通して図面や測定値などの共有が可能で、承認の電子署名ができることで省力化を図る。 ・発注者が現場に来るまでの待ち時間を減らせるため、生産性向上が見込める。 ・発注者が現場に来る手間を省くことができる。
 写真-1 現場立会イメージ	 図-1 遠隔立会イメージ

モデル橋梁における改善効果の比較

■検討条件

立会頻度を配筋・打設前・生コン品質・圧縮強度・緊張・出来形・非破壊の 7 回/ブロックと仮定
打設回数は、下床版・ウェブと上床版の 2 回/ブロック

■効果試算結果

10 分/回×立会 7 回×打設 2 回×4 ブロック＝9 時間 20 分の削減
コンクリート関連以外も含め全ての立会において運用可能なため、大幅な拘束時間の短縮となる

その他（考察・留意点・将来性等）

- ・試算の結果、立会の待ち時間削減のみで、計 9 時間 20 分の工程短縮が可能となった。コンクリート関連以外での立会（材料検収や付属物の出来形検測等）においても運用可能であるため、大幅な拘束時間の短縮が可能となる。
- ・必要なものは、現在現場に普及が進んでいるタブレット端末を用いるのみであるため、大掛かりな装置や新たに導入する機材などが必要なく、汎用性の高い技術であると思われる。特別な資機材を必要としないため、経費面の負担も少ないと思われる。
- ・調書を作成するシステムと連動させることができれば、事務所で検査実測値を打ち直す手間を省くことができるため、更なる生産性向上に寄与する。
- ・留意点として電波状況の良好な現場に限られるが、今後通信技術の発達により適用できる現場が増えることが考えられる。
- ・施工者だけでなく発注者側の時短にもなるため、積極的な運用が期待される。

(4) 期待される技術

「期待される技術」の一覧を表 2-11 に示す。その詳細結果は次頁より、一覧表に示した期待される技術の番号順に示す。

表 2-11 C 班期待される技術一覧

番号	期待される技術	
A	課題	基準点が離れているなど移動距離が長い場合がある
	解決案	GNSS（GPS）測量の活用
B	課題	型枠材や鋼管などの重量物の運搬や単純作業の繰り返し
	解決案	アシストスーツの活用
C	課題	墨出し
	解決案	MR（複合現実）技術を活用した墨出し
D	課題	鉄筋は重量物であり運搬や組立は重労働となる
	解決案	材料の軽量化（アラミド、CFCC etc）
E	課題	バイブレータを持ち続けなければならない
	解決案	自己充填コンクリートによる締固め作業の省力化
F	課題	仕上げるために深夜までの作業になることもある
	解決案	コンクリート打設仕上げ自動化
G	課題	箱桁内での重量物である緊張ジャッキの据付作業
	解決案	ジャッキセットの自動化

A GNSS（GPS）測量の活用

現状、施工中の起工測量や墨出し、出来形計測にはトータルステーションやレベルを用いて計測することが一般的であり、基本的には2人以上での作業となる。作業時には測量機の据付、基準点までの往復、測量したい箇所への移動を行う必要があるほか、見通しが必要であるため、途中で障害物がある場合には盛替えが必要になる場合もあり、多大な時間を要することも多い。GNSS 測量が高精度化すれば、測量したい箇所の座標を直接、測量することができ、大幅な作業時間の短縮となる。

GNSS 測量の高精度化のための技術として、RTK-GNSS 測位、VRS 方式、スタティック法などが開発されており、スタティック法（静止観測）では5mm程度の高精度で測量できるが、測位時間が30～120分以上かかるため、現状では墨出しなどの用途に使うことは難しい。今後、測位時間、精度が高まれば、測量の省力化技術として大いに期待できる。

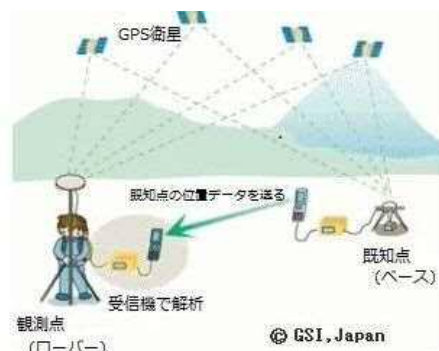


図 2-10 RTK-GNSS 方式

【国土地理院ウェブサイト：<https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi45009.html>】

B アシストスーツの活用

今後、作業員数の減少が予想される中で、重量物運搬の効率化は必須であるといえる。アシストスーツは、建設現場でも数年前から試運用が始まっているが、まだまだ普及しているとは言い難い状況である。

アシストスーツには、動力（バッテリー）を用いるものと、空気圧で人工筋肉が収縮し、人の動きをサポートするタイプのものがある。前者の方が、補助力が高いが、重量が重くなり、後者は補助力では劣るが、比較的軽量であるのが特徴である。現状では、1着60万円～と、まだまだ高額であるが、普及が進めば当然コストも抑えることができる。また、フルハーネス着用が義務付けられたことから、高所での使用にあたっては、まだまだ製品として課題が残されているといえる。



写真 2-3 HAL®

他産業では、特に介護の現場などで普及が進んでいる。中腰で、人のかかえて介助する状況が多いため、建設業に通ずるところがあるといえる。また、運送業において荷物の積み降ろしなどでも使用されている例もある。

【安田産業株式会社ウェブサイト：<https://hal.yasuda-sangyo.co.jp/about/index.html>】

C MR（複合現実）技術を活用した墨出し

現状、設計図から寸法を拾い、2人1組になってメジャーやレベルを使いながら、現場上の位置を求め、墨出しや出来形管理を行っている。

MR 技術を活用し、ウェアラブル端末で CIM (BIM) モデルや図面を現場の上に実寸大で見えるようにすると、現場の型枠や床版等に直接・墨出しを行ったり、施工の誤差などを一目で発見したりできる。3D モデルと現場の位置や向きの精度に課題があるが、今後精度が向上し、ウェアラブル端末が小型軽量化されれば、施工管理の効率化ツールとして期待できる。



写真 2-4 ウェアラブル端末（MR ゴーグル）

【家入龍太公式サイト建設 IT ワールドウェブサイト：

<https://ieiri-lab.jp/success/2017/09/outdoor-gyroeye-holo.html>】

D 材料の軽量化（アラミド、CFCC etc）

現状、コンクリート部材には鉄筋及び PC 鋼材を配置し、引張応力に対して補強を施している。この鉄筋及び PC 鋼材は鋼部材であるため、腐食による劣化が課題となる。また、構造設計において、死荷重が大きなウエイトを占めており、構造を成立させつつ部材厚を薄くするなど部材の軽量化が求められる。

上記課題に対して期待される技術として、設計基準強度を 80N/mm² 程度とする高強度繊維補強コンクリートを用い、PC 鋼材や鉄筋の代わりにアラミド FRP ロッドを使用する、非鉄コンクリートがある。高強度繊維補強コンクリートの持つ高い強度やじん性により部材の薄肉化を図ることができ、アラミド FRP ロッドは軽量・柔軟性・非磁性・非電導の特性を持っており、また、酸化による腐食劣化が起きないため耐久性にも優れる。そのため、耐久性の飛躍的な向上や維持管理費用の削減、鋼材腐食によるコンクリート片剥落などによる第三者被害を防止できることが考えられる。施工においては、鉄筋が必要ないため配筋作業が要らず、コンクリート充填作業においても省力化が図られるため、生産性向上が期待される。今後の展望として、飛来塩分や凍結防止剤散布による腐食環境の厳しい構造物へ展開することで大きな効果が期待できる。



写真 2-5 アラミド FRP ロッド

【三井住友建設株式会社ウェブサイト：<https://www.smcon.co.jp/topics/2018/07251345/>】

E 自己充填コンクリートによる締固め作業の省力化

現状、打設作業における締固め作業は人力で行われており、コンクリートの品質および充填性を確保するために必要である。また、複数人の作業人員が必要であり少なくできないのが現状である。

この問題を解決する技術として、使用する水を通常のコンクリートより少なくし、高い流動性を有する高流動コンクリートがある。高い流動性により過密配筋等の充填が困難な場合でもコンクリートが隅々まで行きわたるため締固め作業が不要になり作業の省力化ができるが、ブリーディングが通常のコンクリートに比べて少ないため表面の急激な乾燥による温度ひび割れ、配筋レベルによる自己充填性の確認、選定した配合の性状を十分に確認等検討事項が多くある。

考えられる懸念事項や使用方法を確立することができれば、締固め作業の省力化技術として大いに期待できる。

F コンクリート打設仕上げ自動化

現状、コンクリート打設は『打設～締固め～粗均し』が行われ、その後トロウエルや木ゴテで『中間押さえ』、金ゴテによる『仕上げ押さえ』というような手順で行われ、一般的には人力による作業となり多くの人員が必要となっている。中間押さえや仕上げ押さえなどは、トロウエルや仕上げロボットが開発されており省力化が進んでいる。

『打設～締固め～粗均し』作業の段階では複雑な動きや軟らかいコンクリート上を移動するなど課題があり、打設から仕上げまでの全工程を機械化するところまで省力化が進んでいない。

今後、全ての工程が機械化、小型化されれば、コンクリート打設の省力化技術として期待できる。



写真 2-6 仕上げロボット
T-iROBO Slab Finisher1



写真 2-7 仕上げロボット
NEW コテキング



写真 2-8 打設ロボット
デービーロボ



写真 2-9 均しロボット
スクリーードロボ



写真 2-10 仕上げロボット
サーフロボ

【大成建設株式会社：https://www.aisei.co.jp/about_us/wn/2017/171027_3459.html】

【鹿島建設株式会社：<https://www.kajima.co.jp/news/press/201807/17c1-j.htm>】

【三和機材株式会社：<http://www.sanwakizai.co.jp/product/robot.html>】

G ジャッキセットの自動化

現状、緊張作業におけるジャッキのセットは人力で行われている。これは、端部形状が現場の条件によって異なることと、ジャッキセット部分にはケーブルの余長部分がでていることにより、最後には人の手による調整が必要になるからである。

このため、緊張作業（ジャッキポンプ操作・伸び量管理）を自動で行う技術はすでにあるものの、実際の作業人員は少なくできていないのが現状である。

これらの問題は、以下の点で技術開発が進めば解決が期待できる。

- ・余長が不要な緊張ジャッキの開発

→ケーブルの余長部分がなくなることにより、人の手を使わなくてもジャッキをセットできる可能性が生まれる

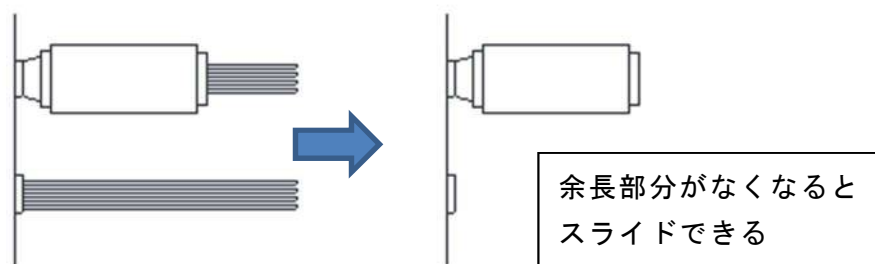


図 2-11 余長が不要な緊張ジャッキ

- ・端部形状を統一する

→作業スペースを含めて端部形状を統一することにより、セットできるジャッキが制限されることを防ぐ

(5) 考察

モデル橋梁を通して橋梁工事における生産性向上を考えてきたが、その可能性や課題などを各工種別に考察する。

①測量工

橋梁上部工工事の場合、橋脚上などで足場がない状況で起工測量をせざるを得ない状況がある。また、親綱など安全設備の設置が難しい場合があり、その様な環境の中での測量作業は危険がともなう。UAV や高所作業車を活用した測量では、高所作業の危険が無くなり、安全性の向上が期待できる。UAV は一人でも操縦可能であり、作業の省力化、生産性の向上も期待できるが、現段階では、従来の測量に比べ精度が劣ることや、後処理に時間を要することなどが課題となる。

また将来的な技術として GNSS を利用した測量が挙げられる。GNSS 測量は現状では、精度や測位時間等に課題が多いが、今後、これらの技術開発が進めば、GNSS によって測量したい箇所の座標を直接、測量することができ、大幅な作業時間の短縮となる。

②型枠工

型枠工には、組立や解体、墨出しなどの作業があり、それぞれが煩雑な作業となる。現場における作業の生産性を向上させるためには、これらの作業を減らすか無くすることが考えられる。埋設型枠を使用することで、解体作業が減少し、プレキャスト化することで組立・解体作業が減少することになる。工場製作となるため、工場での作業は増加することになるが、場所打ち施工に比べ機械化などが可能となるため生産性を向上する余地は大きい。また、墨出し作業などは、AR 技術の利用などにより改善されると考えられる。

③鉄筋工

現場での鉄筋組立作業は、重量物の運搬や組立のための保持など、重労働を強いられている。また、床版鉄筋の結束時には、中腰の姿勢を長時間とる必要があるなど、作業者に与える身体的負担は大きい。パワースーツなどを活用すれば、運搬などの力作業だけでなく、中腰の姿勢をサポートする機能がある製品もあり、重労働の省力化が期待できるが、コスト面、作業性などの問題から現場での普及は進んでいない。今後、製作メーカー、作業従事者などが協力しての製品の改良等により普及を進めていく必要がある。また、まだ実験段階ではあるが鉄筋組立のロボット化などの取り組みも進められているため、今後の技術開発が期待される。

管理面では、CIM や3D モデルなどの活用による干渉チェックや組立手順の確認などは、普及してきたといえるが、モデル作成などにはソフト面での多大な労力が必要となっている。施工者側だけでなく、発注者・設計者も一体となり、CIM モデルの活用が重要である。

また、ステレオカメラを始めとした様々な技術による自動配筋検査システムなどが開発されつつあるが、実際にこのようなシステムでの検査にあたっては、検査要領の見直し等が必要となると考えられる。今後は発注者、受注者一体となった業界全体で生産性の向上を目指す取り組みが必要となる。

④コンクリート工

コンクリート工は、コンクリート打設や仕上げ、養生等の作業があり、その多くが手作業となるため、多大な時間、作業員が必要となる。打継目処理剤使用によるレイタンス処理作業などの部分的に省力化する方法はあるが、コンクリート工全体での省人化や時間短縮に及ぼす効果は限定的であると考えられる。

省力化の方法として材料面では、高い流動性を有する高流動コンクリートがある。高い流動性により、締固めしなくてもコンクリートが隅々まで行きわたるため、締固め作業が不要になり作業の省力化ができるが、コスト面や品質管理が難しいなどの課題があり、あまり普及していない。

一方、作業員が多く必要である仕上げ作業では、打設ロボット、均し・仕上げロボットなどが開発されつつあるが、コスト面や適用可能な範囲に限られるなどの課題から今一つといった状況である。今後、コンクリート工において材料、作業方法などを見直し、何が必要であるか、改善方法を業界全体で検討する必要がある。

⑤P C 工

PC 工における定着具のセットや管理は、PC 橋の施工上、重要な部分であるが、現状では、その大部分が手作業となっており、効率化や省力化の余地は十分にある。しかしながら、ポンプ操作や計測の自動化などの施工管理を効率化する技術は実用化されているが、ジャッキセット等の実作業の部分では効率化は進んでいない。これは、緊張箇所形状が現場の条件によって異なることや、一般的な定着工法では PC 鋼より線 1 本ごとにクサビを取り付け、重量物であるジャッキをセットする作業など、人の手による調整が不可欠になるからである。そのため、この課題を解決するためには、緊張作業の省力化を考慮した新たな定着工法の開発なども進めていく必要性が感じられる。

⑥立会検査・調書作成

立会検査については、現場において発注者・受注者双方を拘束する時間となり、かつ検査終了までは作業員も次の作業に取り掛かることができないこととなる。また、調書については検査終了後に事務作業として作成する必要がある、受注者の負担となっている。どちらの項目に関しても非常に重要な内容であるが機械的な作業でもあるため、生産性向上の項目としては着手しやすい事項である。

現在、各種立会検査では、臨場せずに映像等による遠隔検査を行うシステムやステレオカメラなどを用いた検測システムなど様々な技術が開発されつつある。それらの技術は検査員の移動時間・検査待ち時間の短縮や、検測システムによる調書の自動作成など大幅な生産性向上の効果が期待できる。しかし、このようなシステムを本格導入するには発注者・受注者相互の認識や承認方法などの取り決めを行う必要がある、その手法についての検討が必要となる。

2. 3 製造業から学ぶ生産性（ファナック工場見学）

（1）日時

2019 年 2 月 22 日 13：00～16：30

（2）場所

ファナック株式会社 本社工場（山梨県南都留郡忍野村）

（3）参加者（敬称略）

ファナック株式会社 ロボット国内セールス本部：

坂下，佐野，石山

SEEE 協会土木分科会：

酒井，北，田中，小野塚，神田，大野，笛木，早川，村井，東，松本

（4）見学内容

① ご挨拶・概要紹介ビデオ

冒頭，ファナック㈱の坂下様よりご挨拶があった。その後，ファナックの歴史や主要製品について紹介ビデオによる概要説明があった。

② 工場見学

- ・ ファナック本社工場敷地内において，計 5 つの工場（信頼性評価棟，機械加工工場，ロボット工場，サーボモータ工場，修理工場）の見学を行った。
- ・ ファナックは製品信頼性の向上を図るため，信頼性評価棟では，製品に特殊・過酷・長期などの評価を自社対応できるように大規模な設備を設けている。その中，汎用試験エリアでは部材/部品の加速寿命試験など標準的な試験を行い，専用試験エリアでは特殊な要求性能（耐電磁性，耐水性など）を評価する試験を行っている。
- ・ 機械加工工場はロボットの部品を加工する工場である。セル（機械加工ロボット，工具棚，材料置き場，完成品置場の一連で構成される）ごとに部品の製造を行っており，長時間の無人運転ができる。
- ・ ファナックのロボットは黄色と緑色の 2 種類がある。安全柵の中で作業する黄色のロボットに対し，「接触停止機能」が搭載され，人に対する安全性を確保している緑色のロボットがある。この緑色のロボットは安全柵を必要とせず，人と協働作業を実現することができる。
- ・ ファナックではロボットがロボットの組立を行うため，自動組立てできないロボットを設計しない方針で，ロボットの組立は 90%自動化できており，ケーブルの配線などのみ人力で行っている。
- ・ サーボモータ工場は毎月 15 万台サーボモータを製造できる工場である。部品取り出しから組立て，試験，梱包まで自動化を実現した工場である。
- ・ 修理工場は故障したロボットの修理や，寿命を迎えようとしている部品の交換を行

っている。ファナックは顧客が安心して製品を購入して使用して頂くため、生産した機械に「生涯保守」を保証している。

- ・ 古いパーツは製造中止になる前に、データ予測に基づき大量発注することや代替品を設計するなどの措置を取り、30年以上前の古い製品も修理・交換できる体制を整えている。また、故障のケース毎に番号を付けて修理方法をデータベース化し、情報を共有している。

③ 質疑・応答

工場見学の最後に、質疑応答を行った（詳細は別紙「ファナック工場見学質問事項」参照）。



写真 2-11 質疑応答の様子



写真 2-12 集合写真

④ 感想

工場見学後、参加者より寄せられた感想を以下に示す。

【建設業界へのロボットの導入について】

- ・ 新製品を設計する際は、ロボットで自動組立できないものは設計しないとお聞きした。建設業も設計から省力化、自動化を視野に入れた設計を今後行うようにした方が良いと思った。
- ・ 協働ロボットなど、全てをロボット化するわけではなく、ロボットの得意なこと（単純作業、重量物の取扱など）、人間でしかできないこと（ロボットにやらせると逆に手間のかかること）をうまく分けて活用していると感じた。建設業界でもこのような使い分けをしていくことで少しずつでもロボットを活用していくことはできる気がする。
- ・ 思っていた以上にロボット技術は進化しており、他業種においては導入が進んでいること、その反面、土木業界は導入が遅れているうえに、単純作業の繰り返しを得意とするロボットの導入が簡単ではないことを実感した。
- ・ 現場へのロボット導入を考えると、作業効率について検討し、人がする作業とロボットがする作業を明確にする必要があると感じた。

- ・ ロボットの価格は現場導入に障害となるほどには、高価でないように感じた、いろいろな問題はあるが、現場への導入は今後推進していく必要があると思う。
- ・ イメージよりもロボットが器用に効率よく作業を行っているのを見学させていただきましたが、こんなに便利なツールがあるのに土木業界に活用しないのは勿体ないと感じました。
- ・ 一品生産の多い土木業界においては、ロボットをうまく利活用する必要があり、ロボットを活かせる環境の構築が必要だと改めて思いました。
- ・ 土木業界にロボットの導入は無理だと決めつけず、技術者一人一人が人間とロボットの協働の実現に向けて検討していく必要があると思いました。また、土木業界にもまずロボットを導入していくチャレンジが必要だと思いました。
- ・ ロボットを使うことを前提に、設計・製造方法および技術者の教育訓練等を決定している。当業界はむしろ人を使うことを前提に進める傾向があり、自動化をするならここから変えていくことが必要であろう。
- ・ ロボットが外部の気象作用に弱いということだが、自動化を進めるとしたら現地を屋内に近い環境にする等の大胆な改革が必要にあると思われる。
- ・ 屋内で、同じ製造ラインで同一作業を繰り返す作業では、人間が行うより断然速く、効率的であることが分かった。また、夜間作業では夜勤者も現場に立ち会っていないということに驚いた。屋外で天候の影響も出てくる建設業では、ロボットによる作業は、まだ難しいなと感じた。
- ・ ファナックのお客としては、自動車メーカー等のメーカーが多いと聞いたが、建設業界からの問い合わせも増えているとの事で、やはり建設業界も生産性向上・省力化に対して、ロボット技術に注視していることが改めて分かった。
- ・ ファナックでは防水防塵仕様のロボットを製品として有するが、水かかりに対する予防を想定しており屋外での使用を想定したものではない。
- ・ ビジョンセンサを2基搭載することで、モノを掴む前と掴んだ後の誤差を認識することが出来る。これによりバラ積部品を指定の箇所に正確にハンドリングすることが出来る。足場材などの比較的軽い部品であれば、ハンドリングの自動化が可能と考えられる。
- ・ 所定の押し付け力での倣い動作によりバリ取り作業や研磨作業の自動化が可能である。コンクリート製品の仕上げ作業や自主検査の自動化が可能と考える。

【生涯保守について】

- ・ 修理の履歴や何をしたら直ったかを、ケース毎に番号管理し同様の事例が発生した場合に迅速に対応できるようにしていた。このような手法は、土木構造物の維持補修にも取り入れた方が良かったと思った。
- ・ 自社製品を永く使用してもらうため、故障時の修理対応の為に創業当時の部品を保管し、顧客の工場が止まる時間が最短となるよう修理の手配・派遣ではなく基本的に部品交換にて対応しているということでした。土木業界のメンテナンスにも何かヒントが得られればと思いました。

- ・ 「生涯保守」という会社の姿勢に驚いた。製造中止になったパーツがあっても、代替品を使用する。または、あらかじめ将来予測を行い、ストックしておく。自分の仕事はスクラップ&ビルドが主であるが、他に目を向けると、城など歴史的建造物は見えない部分で今ある技術・材料を用いて補強し、保存・利用し続けており、建設業における「生涯保守」だと感じた。
- ・ ロボットの設計寿命は8年。実際は20年ぐらいが寿命である。ファナックでは永年保守があるため、現在でも創業当初（1972年）のロボットを修理することがある。工場にはスペアパーツが保管されており、不具合が生じた場合にはスペアパーツと交換する。交換された部品は修理されてスペアパーツとして保管される。40年以上前のロボットになると生産終了された部品も多いため、代替部品を用意するのに苦労するとのこと。

【協働ロボットについて】

- ・ ファナック社の協働ロボットは人と一緒に働くことが前提であるため、人とロボットが接触した瞬間停止する機能が備えてあることに加え、ロボット全体に緩衝材が設置されているため、作業者の安全性が十分確保されていると感じた。実際タイヤを持ち上げ移動させる作業を協働ロボットで体験したが、作業性と安全性が非常に高い事を実感した。建設業においては、例えば箱桁内では天候影響を受けないため、柱頭部など高所での緊張時ジャッキセットなどを協働ロボットで行うことが出来れば、特殊なジャッキセットの為の設置器具を製作・設置作業が省力化できるのではないかと感じた。また、別の場所へジャッキや重量機材を運搬することも可能であるため、作業の効率化が可能になるのではと感じた。
- ・ 自動化ではなく、協働ロボットのような発想で半自動化の考え方を取り入れることができれば、建設業にロボットを導入しやすくなるのではと感じた。
- ・ 安全対策において、例えばロボットの作業範囲内に人が立ち入った際に強制的に機械を停止させる仕組みなど、絶対に人が怪我をしないようなシステムが随所に見られた。建設現場でもセンサーの活用などによる安全対策が行われるようになってきているが、機械を自動停止させるようなシステムは少ないのではないだろうか。ロボット工場では安全作業効率の考えがより強く感じられた。
- ・ 人が触れると協働ロボットが止まる。安全面を考慮すると、素晴らしい技術だなと感じた。建設業界でも、重機・クレーンに人が触れると、止まる。やりすぎだとは思いますが、そんな技術も出てくるのではと感じた。

【その他】

- ・ 工場内の製造などロボット化が進んでいる（設計からロボットによる組立を想定している）ためか、広い敷地内で見かける人の数が凄く少なく、製造に関連する省人化が進んでいることがわかった。
- ・ コンクリート二次製品の工場とは異なり、非常にきれいな工場であり、働きやすい環境になっていると感じた。

- ・ 本社工場敷地内のファナックアカデミー（研修施設）での4日間のスクール研修により、最低限の知識と対応は可能となる。
- ・ 充電式や燃料式の動力源を有するロボットはない。200V以上の安定した電源が必要である。

ファナック工場見学質問および回答

Q：ロボットの動力源について聞かせてほしい。

A：充電式や燃料式の動力源を有するロボットはない。
安定した電源（220V，400V）が必要になる。
外部でも発電機等で安定した電力供給があれば動かせる。

Q：御社のロボットについて，最大能力（トン数）はどれぐらいか。

A：最大可搬質量 1.7 トン（ロボット本体重量：2.3 トン）。

Q：ロボットの耐用年数，耐荷性はどの程度が目安となるのか。

A：1 日 16 時間，1 ヶ月 20 日間の使用で 8 年間の耐用年数がある。実際にはもっと使用可能（自動車だと通常 14 年ほど）。

Q：防水性，防塵性はどの程度か，また屋外での使用実績があるか。

A：防水・防塵仕様（IP67）のロボットを製品として有するが，
水掛かりに対する予防を想定しており屋外での使用を想定したものではない。

Q：協働ロボットは人が触れる前に停止することも可能か。

A：事前に設定した負荷がかかると止まる。監視の下，スイッチやリモコン（有線）で停止することは可能。

Q：ロボットを使用することで災害発生数は減るのか。

A：3K（きつい，汚い，危険）で使うために開発されているので，危険作業はある程度回避できるはず。

Q：ロボットを操作するにあたり特別な資格が必要か。

A：特に資格は必要としないが，労働安全衛生法により特別教育を受けなければならない。ファナックには操作を学ぶためのファナックアカデミ（4 日間）の研修がある。

Q：ロボットに記憶させた作業内容を書き換える場合，どの程度の専門知識が必要か。

A：ファナックアカデミを受講すれば，最低限のことはできるようになる。

Q：建設現場（1 品生産）を前提に，人とロボットが同じ作業をした場合（プログラムを書き換える時間等を含む），どちらが早く作業することか。

A：単純作業ならばロボットの方が早いですが，複雑な動きや何度もプログラムし直すならば人がやった方が早い。

Q：ロボットにバイブレータを把握させた状態で振動させる場合，ロボットへはどのような配慮が必要か。

A：基本的には振動はあまりよくないが，人が耐えられる程度の振動ならば問題ないと思われる（実績はない）。

Q：ロボットに面を作るような作業（コンクリートの均し作業等）をさせることは可能か。

A：記憶させた場所に行く，同じ動作を繰り返す等は得意だが，力加減が必要になることや，都度変わるものなどをさせるのは非常に難しい。

Q：機械を据え付ける架台部分は何タイプあるか。ワーゲンへの取付けは可能か。

A：ものによる。可搬重量の大きいタイプではロボット自体がかなり大型であり、しっかりと基礎部に固定する必要がある。

第3章 私たちができること

3.1 本活動を終えての感想

(1) A 班

・本活動を通して、PC 橋工事における生産性向上に求められている多くの問題点、これらに対する解決策について改めて整理し、知見を深めることができた。実際にモデル橋梁を想定し、ICT などの新技術を活用した場合の改善効果や留意点など整理することで今後の省力化や働き方改革に活かせると感じた。具体的には、鉄筋工や型枠工などの各施工ステップにおいて、鉄筋結束ロボットや AR 技術を活用することで、施工の省力化がどのくらい図れるか数値化することができ、効果を確認することができた。今後は、さらに高い技術がでてくれば、施工の省力化がもっと図れると考えられるため、新技術にもっと目を向けていきたい。

・他産業の工場見学（ファナック）では、私が思っていた以上にロボットによる省力化が進んでおり、土木分野でも他作業に負けないように省力化に努める必要があると感じた。人とロボットとの協働、ロボット同士の協働も安全面などで難しいと思うが、そういう時代がくることに期待したい。

【(株) IHI インフラ建設：田中】

・今回の活動を通じて、日頃思っていた問題点（課題）を整理することが出来た。
・モデル橋梁が決まったところ、張出施工はサイクルが決まっている為、生産性向上の効果確認は「工程をどれだけ縮めたか」ではなく、「職員や作業員の業務等に費やしている時間や要する人手の数をどれだけか省力化できたか」でいこうとスタートしたが、無事そのプロセスで結論まで至ったので良かった。

・また今回の試算では、約 5% の生産性向上であったが、6 つのケーススタディ以外の項目については現状と同じ評価（重み）とした為、ケーススタディの数を増やせば、より生産性向上の数値は上がるなと思った。

・個人的には、ファナックの工場見学が良い勉強になった。

日頃、建設現場以外に足を踏み入れる機会はない為、ロボットによる完全自動化が行われているのを見て、正直驚いた。

また同時に、建設現場での完全自動化はまだ難しいと感じた（屋外環境、現地一品生産の為）。

・ただ、建築工事現場で複数台のロボットが連携して施工したり、ダム工事で自動化重機による堤体の盛立作業を施工する例が出てきており、将来「建設現場の工場化」も夢ではないなと思った。

・今後期待される技術について調べるのも自分にとって良い機会だったが、既に実現性の高い技術や既に試験的に行われている技術を取り上げるケースが多くなってしまった。

他産業について調査したものの、なかなか建設業に当てはめて持ってくるのが難しいなと感じた。

・この短い活動期間の中でも、ロボットや AI 等の普及スピードの速さを実感した。今後も加速度的に普及していくはずだが、ロボットや AI が主ではなく、あくまでも我々技術者が主であり、ロボットや AI は我々を補完する存在であるように我々もレベルアップを図り続けなければいけないと感じた。

【(株) 熊谷組：神田】

近年の建設業界は、国土交通省が平成 28 年を「生産性革命元年」と位置付け、急激に生産性向上に注目が集まっている。その中で、身近な業務にフォーカスをあてて最新の生産性向上への取り組み事例を収集かつ討議をすることは、非常に有意義な活動であった。3D プリンタやロボットによる施工といった未来物語から、VR による検査や鉄筋結束機といったすでに実現しているものまで、幅広く討議することで、今後の建設業の姿を垣間見ることができたと感じている。これらの技術が確立されれば、建設業の働き方改革もより一層改善されると思う。

本活動に取り組む中で、生産性向上をどのように定量的に評価するかが課題であった。人工やコストなどを総合的に判断する必要がある、非常に苦慮した。今回は、様々な係数を用いて生産性向上効果を評価しているが、施工場所や構造形式によってそれらは大きく異なる。よって、生産性向上技術の効果を最大限に発揮するためには適時適所の選定が大事であることを感じた。

建設業の技術力は日進月歩で発展しており、かつ、5G や AI の普及により 10 年後の施工方法や使用材料は劇的に変化していると考ええる。これらの激動の変化の時代の中で、技術者として情報の発信や受信をしていかなければならないと、本活動で強く感じた。

【清水建設（株）：今井】

建設業界の生産性は 30 年間ほぼ横ばいであったことから、近年、国土交通省が「i-construction」として生産性向上に焦点をあてている。i-construction は測量から設計、施工、管理の全プロセスで ICT 技術を活用していくという政策である。この政策は、私の土工で適用されているものという印象であった。しかし、今回の活動により、コンクリート構造物として、生産性向上のために、どのように取り組むべきかを考える機会を得ることができた。

A 班のテーマは、片持ち架設工法による PC 箱桁橋の生産性向上対策であり、サイクル施工という性質から、工程短縮や人工削減などの大きな改善は期待できないと考えていた。しかし、施工・管理を細分化し、多様な着目点からアプローチすることで、時間の短縮や施工の機械化ではなく、ウェアラブルカメラを用いた現場立会のような移動時間・立会までの待ち時間などの無駄の排除という考えを得ることができた。また、これら個々の作業の改善効果は小さなものであったとしても、それらの積み重ねにより他の作業に取り組む時間を創造することができると気付かされた。今回の活動で使用する技術のコストについて考慮していなかったが、実施工においては技術に必要なコストと効果のバランスを考えていく必要があると感じた。

今後、ロボット化・自動化・新素材などの技術開発が急速に進んでいる中で、これら

が実現すると大幅な生産性向上を期待できると思われる。それまでの間、私は本活動で得られた生産性向上に対する考え方を基に、「小さなことからコツコツと」情報収集をするとともに取り組みの重要性を伝えていきたい。

【極東興和（株）：高橋】

建設業における「生産性向上」や「働き方改革」が、「i-Construction」、「担い手確保」、「ICT 技術の活用」・・・などのいろいろなキーワードと関連付けて求められている現状で、今回これらについてケーススタディを行い、評価まで行った。

ケーススタディをはじめの前にはいろいろな調査を行い、建設業界だけでなく他産業で行われていることにも目を向けて調査を行ったが、大量生産により大きな生産性の向上が期待できる他産業とは異なり、ほぼ「一品生産」の建設業で同様の効果が得られないことはある程度予想していたこととは言え、悩ましい課題であった。

ケーススタディでは、設定した構造及び施工条件に沿って個々に生産性向上が望めると思われる項目を選定し対策を挙げ、その効果の評価まで行った。その結果、今回挙げた項目（基本 1 人 1 項目）だけでも A 班全員の検討結果を組み合わせると、ある程度の効果が得られることがわかった。着目する項目を増やしてそれぞれに対策を検討し組み合わせればもう少し効果が上がったと思われる。発注者の求める生産性の向上は、僅かな効果の積み重ねというよりは劇的な改善や向上を指しているのではないかと感じることもあるが、「一品生産」のため革命の様なことが起こらない限りは難しいと思われる。

また、今回の検討においては時間に着目してはいないが、「一品生産」であっても生産性の向上に繋がる対策を講じることで生産性が向上し、少しずつではあるが工種毎に必要な時間が短縮出来るので、時間にも余裕が出来てくると思われる。

今回の活動で得られたように、「一品生産」であるが故に僅かばかりの生産性向上ではあるが、それらを積み重ねることによってある程度の効果が得られるということ、その効果により時間に余裕が出来て「働き方改革」にも繋がる可能性があるということがわかった。今回行って得られたケーススタディの課程や結果を、今後必要となった場合には今回の活動を思い出し業務にも繋げたい。

【日本高圧コンクリート（株）：小野塚】

建設現場は「一品受注生産」や「労働集約型生産」などの特性があり、生産性向上策に取り組むことが困難と指摘されている。このような中、PC 橋の建設現場においては、「部材のプレキャスト化」や「架設工法（機械）の改善」などを主体に生産性の向上に取り組んできた。

本活動では、工種別に細分化した問題・課題を抽出し、解決策の提案、その効果について議論を重ねてきた。着目範囲を絞ったにもかかわらず、解決策として優れた要素技術が数多く提案され、個人的にも新たな気付きなどが生まれた。また、多面的なアプローチにより一定の効果が得られるなど、従来の「部材のプレキャスト化」などとは異なる角度から PC 橋における生産性向上の可能性を確認することができた。

今後、生産性向上に関する要素技術の発展は、ますます加速していくと推察される。加

えて、技術基準類やマニュアルの策定など導入環境の整備拡大を図り、建設生産プロセス全体を通じて適切に新技術を活用していくことで、更なる生産性向上（省人化・省力化）が期待できると考える。

【(株) 日本ピーエス：前川】

(2) B 班

- ・活動当初はモデル橋梁に対して新技術を導入していくことに難しさを感じた。
- ・建設分野における生産性向上を目的とした新技術の研究、開発および導入について調査を進めた結果、他分野と比較して新技術導入への対応が遅れていることを改めて知ることができた。
- ・現況において導入、運用が開始されている新技術では適応範囲も限られており、大幅な工期短縮を可能とするのはまだ難しいと思われる。
- ・大幅な工期短縮を実現可能するためには、3D プリンターや AR 技術を積極的に導入していく必要があると考えられるが、研究開発の遅れのほか、施工基準の整備など、多くの課題が残されている。しかしながら、危険作業の低減や安全性の向上という観点においては、新技術導入による効果が目に見えるかたちで改善されてきているといえる。

【鉄建建設（株）：大野】

- ・技能労働者に対する生産性向上に関する技術は開発されていると感じたが、現場監督に対する技術（品質管理などの省力化技術など）は少なく感じた。
- ・現場監督の働き方改革を行うには技術開発も必要だが、書類の簡略化なども同時に進めていく必要があると感じた。
- ・AI や 3D プリンターなどの革新的な技術も盛んに開発が進んでいるが、建設業での実用化には用途などを今後検討していく必要があると思われる。
- ・新しい技術を採用するためには、技術の発展に合わせて管理方法などの整備が必要と感じた。

【昭和コンクリート工業（株）：小塩】

- ・現場の作業性を向上させる技術が多いように思えた。現場管理の生産性を向上させる技術が少ないように思えた。
- ・現場管理の生産性を向上させるには、より一層の ICT 技術の発展が不可欠に思える。
- ・生産性を向上させる技術は新技術が多く、技術の適用への制度作りを急ぐ必要があると思えた。
- ・今後は新設工事よりも維持更新工事が増加すると思われるので、新設のみでなく、維持更新工事に関する生産性向上を検討する班があってもよかったと思う。

【(株) 大林組：釘宮】

- ・今回、建設分野にとどまらず広い視点で最新技術を調査してきた。これまで人間にしかできないと考えられてきたあらゆる作業を、ロボット・AI が代行する時代がすぐ近くま

で来ていることを実感した

- ・新技術の適用は、まだ省力化を達成するには技術や体制が追い付いていない現状がみられるが、働き手の安全性を高めることにはすでに成功している技術が多くあると感じた。
- ・AIのアシストによって収集されるデータや判断材料が、これまでは何年も費やさなければならなかった経験を積まなくても簡単に手に入れられるようになっていく。しかしながら、最終判断を下すのは技術者である人である。これからどんどん手軽になっていく技術に対して、何も考えずただ享受することはせずに、与えられた情報に対してしっかり人が検証していく必要があると思う。

【(株) 銭高組：佐藤】

- ・具体的なモデル橋梁で生産性向上や働き方改革に対してのケーススタディーを作成したため、効果・課題・将来展望を明確にすることができた。また、具体的な労働力削減効果を人工数や時間で定量的に算出することで生産性向上効果のイメージは容易になった。
- ・モデル橋梁に特化した生産性向上効果を提示することが難しかった。
- ・大規模工事で生産性向上効果が大きい技術を、中規模工事や小規模工事に適用しても、その効果は必ずしも大規模工事と同等ではないことが分かった。B 班モデル橋梁のような中規模工事や小規模工事では、ハード面(プレキャスト化や鉄筋結束作業の自動化など)の対策に加え、ソフト面(AI による調書自動作成やタブレット端末を使用した自動配筋検査など)の対策を行うことで、生産性向上や働き方改革の効果を向上させることが可能であると感じた。

【(株) ピーエス三菱：笛木】

- ・新技術を採用した場合について、どのような効果が得られるのか、その効果はケーススタディーに用いた橋梁に対して適用可能なのか、どの程度の有用性があるのかといった視点で評価することで、自分たちが求めている新技術の方向性を改めて確認することができた。
- ・新技術の適用性について模索する中で、橋梁工事に対する理解を深めるとともに、生産性に対する課題を抽出することができた。
- ・前回テーマ「100 年後の日本をディベートする」で取り扱った開発中の技術や、将来的に開発が期待される技術に対して、現在実用化されている、またはその目前の新技術に焦点を当てたため、どこかで聞いたことのあるような内容になってしまったように感じた。
- ・様々な分野で開発された技術を建設業へ応用することで生産性向上の可能性があることを実感し、広い視野で物事を見ることが今後更に必要となってくると感じた。
- ・業務の効率化を図るうえで IT の活用が必須となってきた状況で、IT 教育が必要だと感じた。

【(株) 富士ピー・エス：早川・渡辺】

(3) C 班

本活動を通じて、新技術の情報を得ることができました。また、土木業界に限らず、様々な業界の技術について調べるいい機会となりました。本活動ではモデル橋梁に対して施工の効率化や省力化をテーマとし、問題点の抽出・解決策の考察をしましたが、建設業界の特性や技術的な問題も相まって解決は難しいと思いました。近年話題になっている働き方改革に関しても同様で、現状の技術のみでは、根本的な部分の解決を行うのは無理があると感じました。しかし、建設業界だけではなく、他業界の技術も取り入れていけば問題解決の糸口になるのではと思いました。今後も建設業界に限らず、他業界の技術情報も積極的に調べていくべきだと思いました。

【大日本土木（株）：藤田】

本活動では、生産性向上に繋がる問題点・課題の整理や新しい技術情報の収集などに取り組み、期待される技術ということで業界にこだわらない新しい技術についても調査を行った。対象橋梁に適用することで生産性向上に繋がる技術も多くあると思うが、現実を見てしまい飛躍的な改善案や解決策を提案することが難しかった。問題点・課題を整理している中で、現場職員が行っている現場管理や検査、書類作成や写真整理などに労力や時間が多くかかっていることが確認できた。現場作業の省力化だけでなく、管理業務の省力化も重要であると再確認できた。管理業務でも CIM や MR 技術など新技術を活用することで、効率化や省力化につながるように感じた。さらに、現状の検査内容や書類項目を見直すことで、受注者だけでなく発注者の生産性向上も可能と考える。一品生産の建設現場を劇的に省力化することは難しいと思うが、生産性向上に取り組んでいくことが重要であると認識し、建設業界以外の新技術も含め情報収集していく必要があると感じた。

【川田建設（株）：吉松】

今後、熟練工の多数が高齢化していき、離職していく建設業界において、生産性向上は急務な課題といえるが、今回色々と調べていく中で、現場の経験を踏まえてしまい、創造的な意見があまり出てこなかった。また、受注者側だけでは実現不可能な事例も多々あり、国や発注者と一体になって進めていく必要があると改めて感じた。今回の活動を、今後現場で活かせればと思う。

【鹿島建設（株）：柑本】

本活動を通じて、新技術の情報を得ることができました。また、土木業界に限らず、様々な業界の技術について調べるいい機会となりました。本活動ではモデル橋梁に対して施工の効率化や省力化をテーマとし、問題点の抽出・解決策の考察をしましたが、建設業界の特性や技術的な問題も相まって解決は難しいと思いました。他業界の技術も取り入れていけば問題解決の糸口になるのではと思いました。今後も土木業界に限らず、他業界の技術情報も積極的に調べていくべきだと思いました。

【（株）安部日鋼工業：堀内】

建設従事人口の減少により、生産性向上のための技術導入は待ったなしである。よって、

作業を自動化することにより省力化を図ることは非常に重要である。発注者⇔受注者⇔作業員という三者関係によって成り立っている建設業界において、特に受注者のわずかな生産性向上が他両者にとっても生産性向上に繋がり、全体として大きな生産性向上になることが確認できた。受注者の生産性向上を図るには、受注者だけでなく発注者・作業員からの情報収集も非常に大切であると思う。自動化・システム化に対して消極的にならず、必ず発生する問題点を三者が協力し合い、改善していくことが生産性向上という課題が少しずつクリアされていく絶対条件であると感じた。しかし、「新技術」の導入は、個人レベルの低下が懸念される。未来の技術者が何故このようなシステムを使用していて、従来はどうしていたのか、理屈はどうなっているのかという従来技術の伝承は確実に行わなければならないことを忘れてはいけないと感じた。個人レベルの維持+省力化、この2つが成り立って初めて本来の「生産性向上」であると感じた。

【三井住友建設（株）：水田】

熟練工の高齢化や若者の入職者が減少している建設業界の現状を考えると、生産性向上は喫緊の課題であると認識しているが、具体的モデルケースにおけるケーススタディーとなると、どうしても既存技術の枠組みの中で考えてしまい、画期的なアイデアを出すことは難しかった。一方、他産業の技術を応用することで、何か革新的な改善のヒントがありそうな気がした。建設業界にとらわれず広い視野で情報収集することが重要と感じた。

【佐藤工業（株）：勝見】

今後の労働人口の減少や社会資本の老朽化を考えると、生産性の向上が課題となっていることは理解できるし、同じ建設業界であっても既に ICT により劇的に生産性が向上した分野もあり、今後、AI 等の技術の進歩によりそのメリットを受ける分野が増えていくことだろうと思われる。しかしながら、今回の活動を通じて感じたことは、手段と目的を履き違えないようにしないと、ある1点の生産性を上げるために他の部分がトレードオフとなるケースが多くみられるということである。全体を最適化するという視点を常に意識して新技術を取り入れていくことが大事だと感じた。

【ドーピー建設工業（株）：村井】

3. 2 生産性向上にどのように私たちが取り組むか

(1) A 班

近年、少子高齢化にともない建設業に携わる労働力が減少してきている。一方、新設の公共工事に加え、公共構造物の老朽化による更新工事も進めていく必要があるため、人手不足が問題となってきた。そのため、設計・施工・管理の各分野で生産性向上が重要となっている。

A 班で検証したモデル橋梁は、片持ち架設工法で施工を行う PC 箱桁橋であった。このモデル橋梁は、2.5m～4.0m のブロック毎に鉄筋・型枠・コンクリート・PC 緊張の施工を進めていく必要があり、各施工は施工量が少ない。また、施工方法の大きな改善がなく、長年続けられてきた工法であった。そのため、工程短縮など分かりやすい生産性向上効果が望めないと考えていた。

生産性向上のためには、作業時間の短縮、必要人工の削減、安全性・品質の向上などがあげられる。これらを意識してモデル橋梁の作業を分解し、改善したい作業の抽出・解決策の立案に取り組んだことで、工程短縮のような分かりやすい改善効果は無いが、ブロック毎に削減した人工や時間を他の作業に有効に活用できる可能性を見つけ出すことができた。そのため、今回の WG で実施した、作業を分解し全体を可視化することが、生産性向上に取り組むための入り口と考える。作業全体の可視化は、拘束時間が長い作業、単純作業の繰り返し、熟練技術者しか対応できない煩雑な作業、などに気付くことができる。これらの気付きに対して、改善していくことを考えていく必要がある。

例えば、単純な繰り返し作業の生産性向上として、現場で出来形などの手書き帳票を使用している場合は、タブレットを用いて直接データ化、手書き帳票の入力作業を外注してデータ化、AI による画像解析を用いた自動データ化などがある。このデータの入力作業は、日作業の中で、少しの時間しかかからない・考えている間に作業が終了するとの理由から、従来通りの方法をとることがある。しかし、このような方には、意識の持ち方次第で、その後の生産性が向上することを伝えたい。改善できることを探し続けることが、生産性向上を推進する上で重要である。

現在、生産性向上技術として、AI、ロボット、無人化、AR などの技術が開発されている。これらの技術は建設業で実績があるため、比較的適用しやすい技術である。しかし、他産業においても、様々な技術が使用されている。例えば、セルロースナノファイバーのような紙パルプから作られ、鉄の 5 倍の強度を持つ新素材などがある。これらの他産業の技術活用を検討していくことも必要である。

以上より、生産性を向上させるためには、考え方や心構えを伝えるソフト面とともに、新たな技術の可能性を見出し使用するハード面の両面からの取り組みが必要である。そのため私たちは、可視化した作業から、どのような技術が必要となるかを継続的に考え、小さな改善を積み重ねていくとともに、その必要性を伝えることで、生産性向上に向けて取り組んでいきたい。

(2) B 班

新技術を導入しその利点を最大限に発揮するには、環境の整備、業務の在り方、働く人間の意識改革をする必要があると考える。

今回調査した新技術の中には、AIの進化やロボットの普及、通信技術の発展により実現可能となった技術が多くみられ、人の手を必要としない近未来的な建設現場が実現しつつあると感じた。その一方で、新技術に適した建設プロセスの再構成、法制度・評価手法の整備、従来技術のデータ化・共有化というような新技術を取り入れる地固めができていないのではないだろうか。今後、新技術の導入のためにはリスク（費用増大や不具合など）が伴うことを理解し、地道に取り組んでいくほかない。

喫緊の課題として、現在の新技術レベルに合わせた業務体系を構築することが重要である。何故なら、上述したような課題が残っている現状では、従来技術よりも新技術のほうが手間やコストが増加する場合があるためである。

今回の活動にあたり予備調査として、ファナック株式会社の工場見学会を行い、その中で協働ロボット技術を体験した。協働ロボットは人と同じ空間で働くことを前提としているため、人とロボットが接触する瞬間に停止する機能や、ロボット全体に緩衝材を敷設するといった作業者の安全性を確保するための工夫が多数施されている。実際にタイヤを持ち上げ移動させる作業を協働ロボットで体験したが、作業性と安全性が非常に高く、建設現場においても実用の可能性を実感した。協働ロボットの発想で、最初から全自動化を目指すのではなく半自動化の考え方を取り入れることができれば、建設現場においてもロボットの導入がより身近で取り入れやすいものになると考える。

また、今回の活動で調査した新技術に、協働ロボットの技術を組み合わせることができれば生産性向上および働き方改革に繋がると考える。たとえば、3D スキャナーによる桁製作技術は、運搬コストの削減および工程短縮が期待できる。その際、3D スキャナーの機材に協働ロボットの技術を活用することで、労働者の安全性が確保され、働き方改革の実現に繋がる。ただし、この事例は他産業の技術を取り入れることで実現する技術であり、3D スキャナー機材を機械・ロボット産業と共に開発・製造していくことが必要不可欠である。

最後に、新技術を受け入れる側である我々の生産性向上や働き方改革に対する意識改革を、重要な課題として挙げるべきだろう。建設業界に限ったことではないが、我が国では定時で業務を終えることに罪悪感を覚える風潮は未だに根強く残っている。しかしながら、工程計画で想定した総人工数に対する業務以外の追加業務を行うことや、時間内に業務が完了しない働き方を行うと生産性向上効果は低下し、働き方改革は実現しない。新技術を導入することで生産性が向上してもこれでは意味がない。

今回の活動では、橋梁の構築に関する直接的な技術だけでなく管理業務に関連する技術も幾つか挙げている。管理業務に関する技術は前者と比べると数値的に“みえる”導入効果こそ小さいが、時間外労働になりがちな事前準備やデータ整理作業の軽減、現場と事務所間の移動時間の軽減、安全性の向上といった“みえない”負担の軽減効果は高いと思われる。意識改革を実現するにはこの“みえない”負担をなくしていくことが必要となつて

くるのではないだろうか。

若手人材不足と高齢化への対策が強く求められる近年、業界のノウハウを継承し技術力を維持していくには、性別・国籍にとらわれず新しい人材を増やすことが必要で、そのためには多様なライフスタイルに合わせて労働環境を整えていかなければならない。新技術を効果的に導入し職員の負担を軽減することができれば、若手社員の獲得や女性社員のキャリア継続を成功させ、生産性向上、働き方改革を本当の意味で実現することができると思う。

建設業界は今、産業構造の転換期を迎えている。我々はロボットや AI が活躍する新時代の基盤を構築する役割の担い手であることを自覚し、若手育成や自己研鑽を通して自分にできることを考えていきたい。

(3) C 班

現場一品生産という土木工事の制約から、今回の対象橋梁を始めとした構造物構築においては、施工段階での大幅な省力化は現時点では難しいといえる。現在、ICT などを活用した様々な新技術が開発されているが、支保工の設置や鉄筋・型枠の組み立て、コンクリートの打設などの工程の大部分を占める作業に関しては、施工効率を劇的に上げる技術の開発は、実用段階にまで進んでいないのが現状である。PC 関係の作業に関しても、施工管理を簡素化する技術は存在しているが、作業人員そのものを削減するような技術では無い。また CIM 等の技術に関しても設計や施工計画の段階では効率化が望めるが、施工段階となると効果は限定的である。

一方で、設計段階から生産性の向上に配慮することができれば、プレキャスト化を含めた最適な構造を検討することが可能となる。また、構造寸法を標準化するなど施工段階での機械化・自動化に配慮した設計を行える可能性も広がる。このようなことを行うためには、受注者だけでなく発注者や設計会社、メーカーなども含めた業界が一体となって取り組む必要がある。また、発注形態や、仕様書などの改訂も含めた見直しが必要と考えられる。

また、書類作成等に関しては、業界全体でペーパーレス化、IT 化が進んではいるが、そもそも必要とされる書類や検査内容が客先や担当者によって異なるなど、必要以上の書類作成に労力を費やしているように感じられる。さらなら電子化を進めるとともに、各発注機関での書式や検査内容の統一など、官民一体となって取り組む必要がある。

あとがき

モデル橋梁への生産性向上技術適用のケーススタディーを通じ、着目技術の使い方、数値的あるいは具体的効果、留意点について理解を深め、かつ有効性が身をもって感じられたことは、本分科会の趣旨である「個人の資質の向上」につながる有意義な活動であったと言えます。

また、活動成果が冊子として協会会員各社に配布されますが、実務の中で生産性向上技術の検討を行う際の参考資料となること、本内容からインスピレーションを得てさらなる生産性向上の工夫や創出に役立つことが期待されます。

一方、多くの課題も浮き彫りになりました。本報告では、単体技術では生産性の飛躍的向上には至らないこと、作業・管理を自動制御の機器や AI に任せる場合の確認手段の考案、高度な機器やシステムを駆使するための高度教育の実施、建設事業全体で設計・施工・調達に関連する既製概念を打ち破る枠組みの創出等を課題として挙げており、解決すべき点を提示できたことも大きな成果です。

近年、生産性向上が声高に叫ばれる様になったのは、建設業に従事する人手不足、長時間労働等業界の魅力を損なう切実な事情と併せ、ICT、AI、ロボットを活用した自動制御技術の発展が加速している背景があります。

もはや今の延長で 10 年後を推し量ることはできません。今回の活動で「無理」と判断したことでも、革新的技術の登場により「可能」となるかもしれません。業界内に留まることなく世の中全体を見渡して技術を見出し、試行錯誤を繰り返して、先に挙げた課題を一つ一つ解決していくことが生産性向上の実現につながるでしょう。

当分科会の成果が、働き方改革を含めた真の生産性向上の実現と、その先にある魅力的な建設業界の実現に一助となれば幸いです。

令和 2 年 3 月
SEEE 協会土木分科会
北 倫彦

SEEE 協会会員名簿

正会員

飛島建設株式会社	株式会社銭高組
昭和コンクリート工業株式会社	日本高圧コンクリート株式会社
ドービー建設工業株式会社	株式会社IHI建材工業
前田建設工業株式会社	コーアツ工業株式会社
佐藤工業株式会社	東日本コンクリート株式会社
鉄建建設株式会社	株式会社安部日鋼工業
オリエンタル白石株式会社	株式会社日本ピーエス
株式会社ピーエス三菱	株式会社福田組
株式会社富士ピー・エス	株式会社大林組
三井住友建設株式会社	日本サミコン株式会社
株式会社IHIインフラ建設	大成建設株式会社
鹿島建設株式会社	株式会社熊谷組
川田建設株式会社	株式会社鴻池組
極東興和株式会社	大日本土木株式会社
清水建設株式会社	株式会社エスイー

(協会加盟順)

計30社

賛助会員

住友電気工業株式会社	株式会社メタルワン鉄鋼製品販売
神鋼鋼線工業株式会社	伊藤忠丸紅住商テクノスチール株式会社
日鉄S Gワイヤ株式会社	株式会社ピーエスケー
株式会社ビービーエム	株式会社ピーエー

(協会加盟順)

計8社

本報告書にある資料およびデータの著作権は、最初に作成した著作者に帰属し、この権利を阻害してはならない。また、本報告書の無断複写・複製は著作権法上の例外を除き、禁じられている。

SEEE 協会 事務局

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 8 丁目 11 番 1 号（日東星野ビル 7F）

株式会社エスイー内 TEL (03) 5338-3246